SCIENCES ET AVENIR

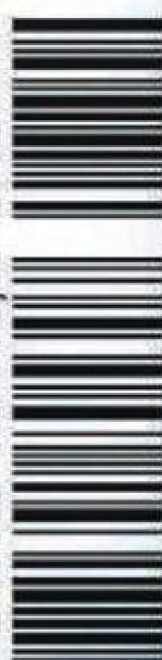
sciencesetavenir.fr



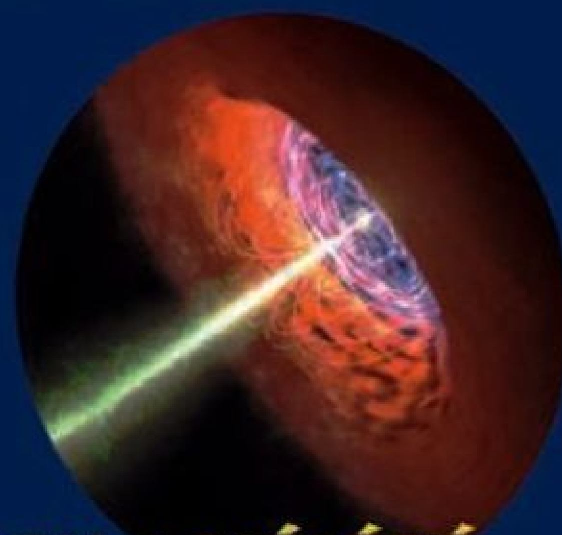
LIRE LA PAROLE DANS LE CERVEAU p. 56

COVID-19
CE DONT ON EST SÛR
et ce qu'il reste à découvrir p. 8





FLORAISON
UNE GÉNÉTIQUE EXTRAORDINAIRE p. 48



TROUS NOIRS
ILS GRANDISSENT EN ACCÉLÉRÉ p. 32

JUIN 2020 - N° 880 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / BELGIQUE 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / ITALIE 5,70 € / DOM 5,90 € / ANDORRE 5,40 € / LUXEMBOURG 5,70 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 880 XPF / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $

L 13418 - 880 - F: 5,30 € - RD

SCIENCES ET AVENIR - N° 880 - JUIN 2020 - COVID-19 : CE DONT ON EST SÛR

© SHUTTERSTOCK/PAULISTA - ESO/ALCADA
NADIA RABHI POUR SA - SHUTTERSTOCK/JUNJUN

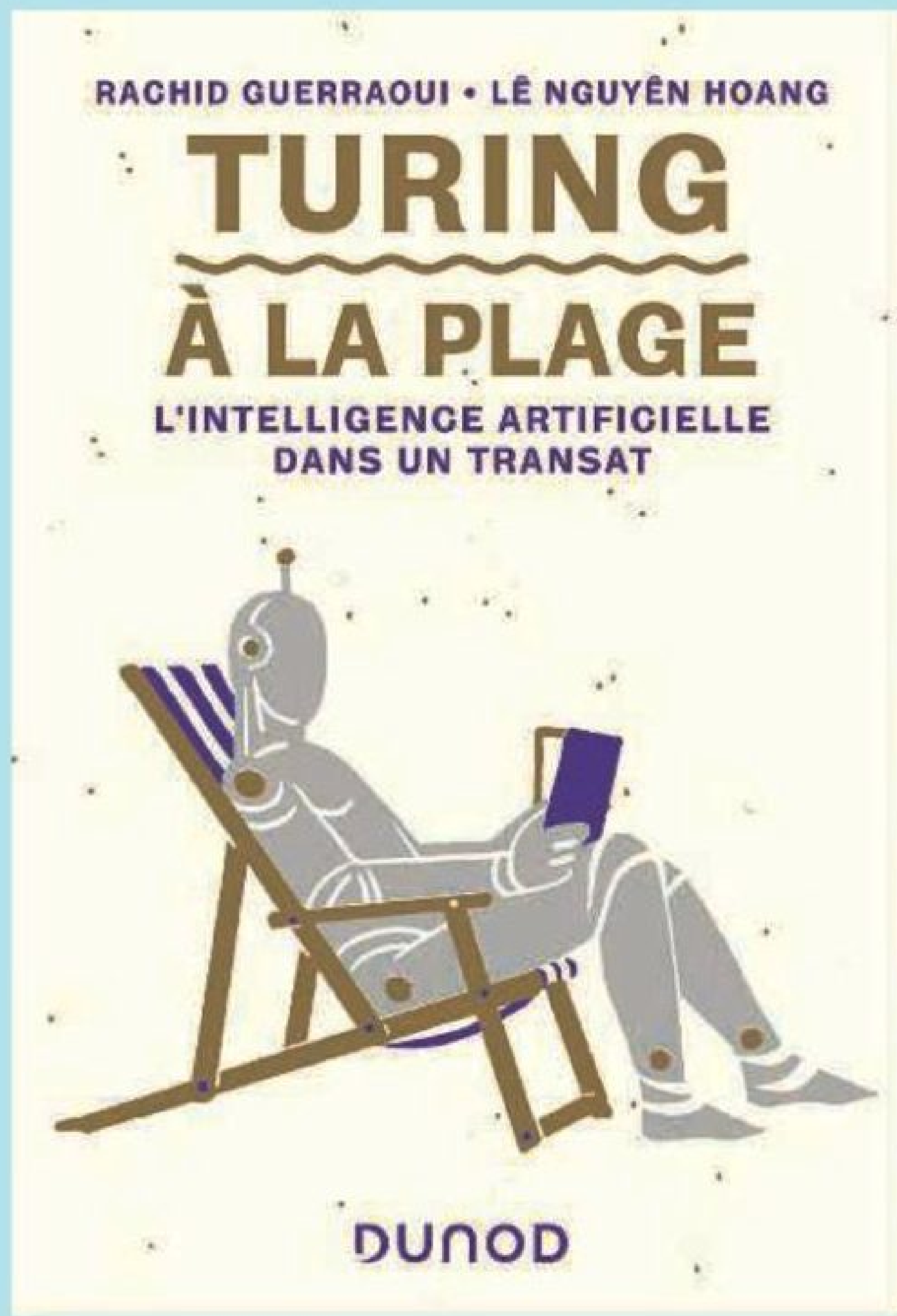
VISIT…

LANZAROTE

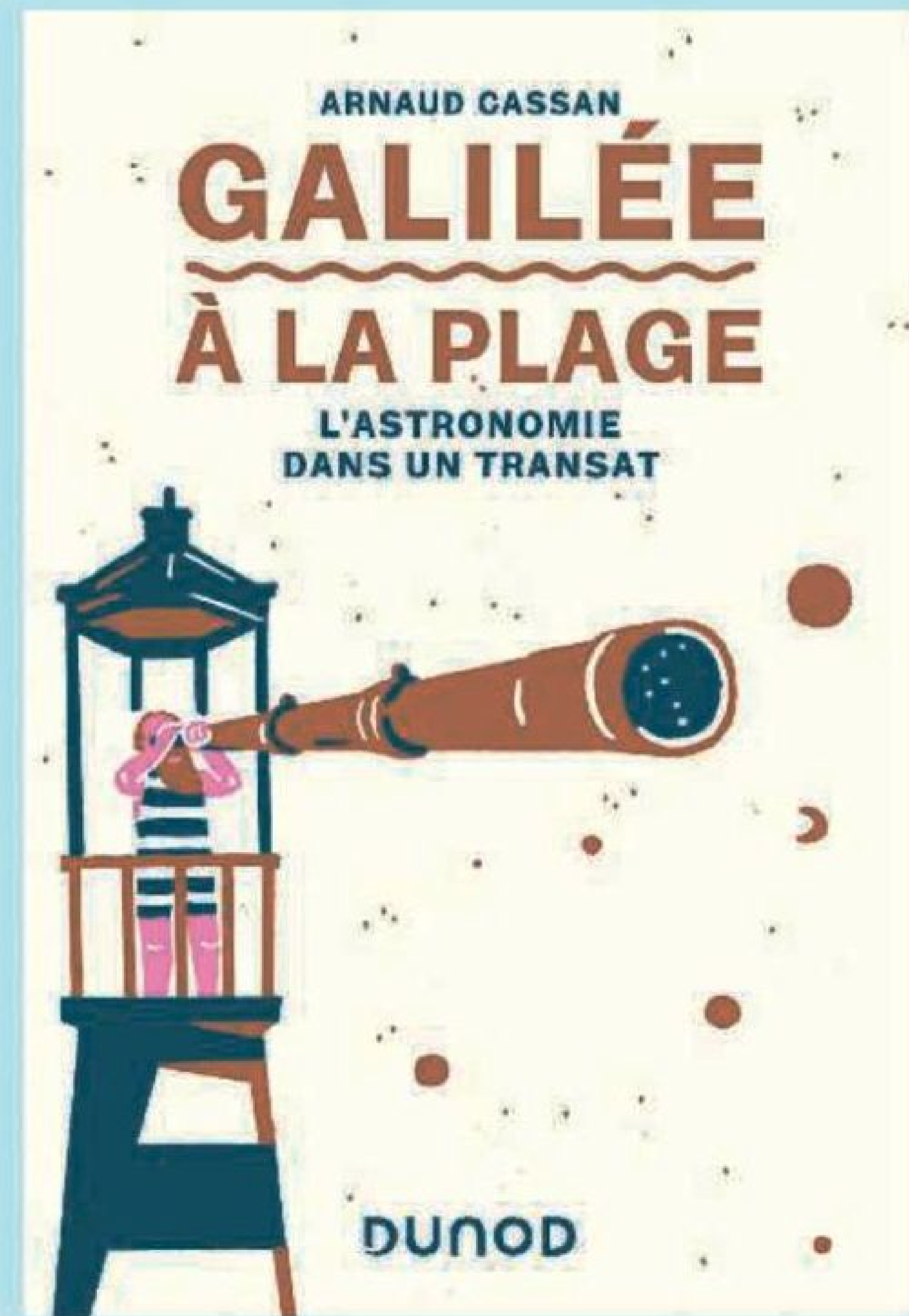
Caliente.COM

À LA PLAGE

DEUX NOUVEAUTÉS EN LIBRAIRIE LE 10 JUIN

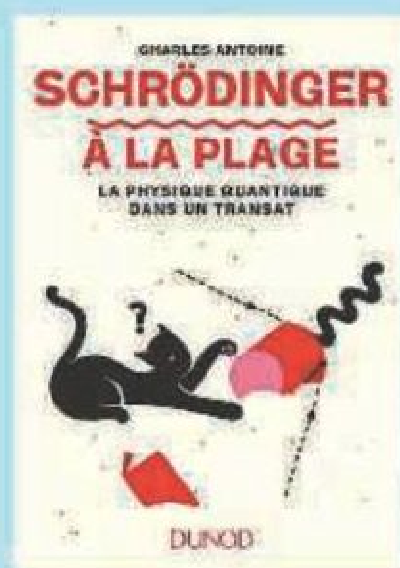


9782100795550

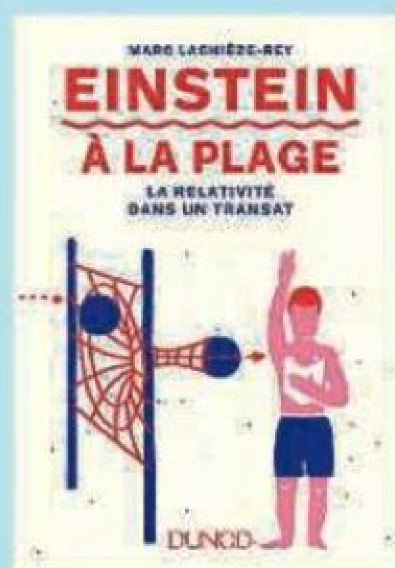


9782100795574

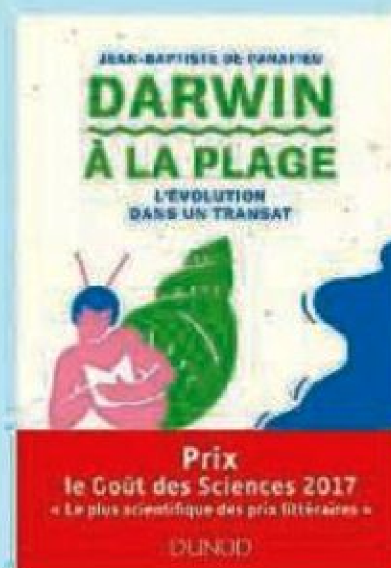
DANS LA MÊME COLLECTION



9782100772896



9782100763399



9782100758593

Le Tote Bag
À LA PLAGE
OFFERT
EN LIBRAIRIE
pour l'achat d'un livre
de la collection*



*Dans la limite des stocks disponibles



PRIX UNITAIRE : 15,90€

DUNOD
une page d'avance


BERNARD MARTINEZ

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

Quatorzaine

Un des plus éminents spécialistes mondiaux des virus, le Pr Peter Piot, qui mène depuis des décennies d'inlassables recherches sur le VIH ou sur le redoutable virus Ebola, déclarait tout récemment au très renommé *Science** qu'il fallait être « *clair. Sans vaccin, nous ne pourrons jamais revivre normalement.* » Il évoquait là, bien évidemment, la course actuelle à la prévention du Sras-CoV-2, qui provoque la pandémie de Covid-19. Si nous avons titré ce mois-ci « Ce dont on est sûr et ce qu'il reste à découvrir », c'est bien parce qu'il faut rappeler quelques principes intangibles. En attendant ce vaccin, après lequel courent les laboratoires, publics et privés, et dont la conception va peut-être exiger de toutes nouvelles stratégies *(p. 16)*, l'équilibre des différentes sociétés devra reposer sur d'autres piliers. Et d'abord sur la capacité que démontreront les humains à composer avec l'agresseur. À la date où nous mettons sous presse, on ne peut que s'interroger sur le niveau de contamination de la première semaine de juin — où vous êtes peut-être en train de lire ces lignes. Cela dictera bien des décisions. Avec le coronavirus, on l'a compris, c'est en effet en quatorzaine, *a minima*, qu'il faut savoir compter. Autrement dit prendre en considération la durée entre la date d'une possible infection et sa traduction en symptômes (ou pas, si l'on demeure asymptomatique). Pendant cette période, peut-être même en deçà et au-delà, on est contagieux. Fort de ces connaissances nouvelles sur la transmission possible d'un virus jamais vu avant 2019, le rôle des modélisateurs est devenu clé pour anticiper l'évolution de l'épidémie. On en a pris la mesure au mois d'avril, quand il s'est agi de ne jamais déborder les capacités du système de santé. Le graphique de la page 15 est à cet égard très éloquent. Les courbes montrent comment le confinement de 55 jours a fait chuter le nombre de patients admis en réanimation et les niveaux à ne pas dépasser demain, pour éviter toute deuxième vague. Ces chiffres sont à surveiller, chacun ayant saisi, sans être virologue, les dégâts que peuvent engendrer les exponentielles ! Et celles-ci, qui traduisent le nombre de nouveaux cas d'infection si relâchement, seront toujours prêtes à resurgir ici et là, en *clusters* (grappes de cas). On ne peut que tabler sur le raisonnable : masques — par respect pour les autres ; distanciation physique ; précautions renforcées auprès des personnes âgées. Le virus, c'est avéré, est 180 fois plus dangereux au-delà de 80 ans qu'à 40 ans. On sera dans l'attente des traitements. Pour ces derniers, c'est étonnamment aux « mauvaises réponses » de notre système immunitaire que s'attaque la recherche *(p. 12)*. Et si votre cerveau a changé pendant le confinement, comme le révèlent les neurosciences *(p. 8)*, pas d'affolement, il saura se réadapter au déconfinement. C'est pourquoi on ose se souhaiter collectivement un bon été ! ■

@dominiqueleglu

* ScienceMag.org, interview par Dirk Draulans, 8 mai 2020,

SCIENCES ET AVENIR

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteur(trices) en chef
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédacteur(trices) en chef adjoint(e)s
Andreina DE BEI (photo-iconographie) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (pôle digital) - 01.55.35.56.39
Mathieu NOWAK (actualités - rendez-vous) 01.55.35.56.38

Direction artistique
Thierry VERRET (conception)
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT (directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chef(fe)s de service
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07

Chef de service adjoint
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Cheffe de rubrique
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction
Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27 -
Olivier HERTEL (technologie, futur) - 01.55.35.56.03
Hugo JALINIÈRE (médecine, biologie) - 01.55.35.56.52 - Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grande reporteure (biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs(trices)
Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN

Ont participé à ce numéro
Marine BENOIT, Héloïse CHAPUIS, Nicolas GUTIERREZ C., Pierre KALDY, Irène LACAMP, Coralie LEMKE, Hugo RUHER, Muriel de VÉRICOURT

Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1er secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

Pôle digital
Joël IGNASSE (rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Camille GAUBERT (rédactrice santé) - 01.55.35.56.24
Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70

Documentation
Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14

Fabrication
Christophe PERRUSSON

Publicité
MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale :
Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70

Abonnements et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir
4, rue de Mouchy 60438 Noailles cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €. Tarifs pays étrangers sur demande.

Abonnements Belgique : Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 – www.viapresse.be

Directeur de publicité :
Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75

Directrice de clientèle et responsable Web :
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08

Assistante commerciale :
Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57

Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05

Administration des ventes :
Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20

Directeur commercial : Valéry SOURIEAU

Partenariat: Joëlle HEZARD - 01.58.65.09.99

Directeur des abonnements
Luc BONARDI

Responsable des abonnements
Lina QUACH 01.55.35.56.63

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication :
Claude PERDRIEL

Secrétaire général :
Jean-Claude ROSSIGNOL

Multimédia : Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. Tél. : 01.55.35.56.00.



Origine du papier : Italie

Taux de fibres recyclées : 0 %

Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier

Ce magazine est imprimé chez Newsprint (Lieusaint), certifié PEFC



Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend : un encart Linvosges, un message l'OBS, un encart Auto Moto et un encart «Sophia Boutique» jetés sur couverture en diffusion partielle des abonnés Commission paritaire n° 0620 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

SOUFFRANCE SOLITUDE DÉSARROI

Face à l'épreuve du Covid-19, France Alzheimer accompagne les familles

☎ un service d'écoute téléphonique avec des bénévoles formés et des psychologues.
Trouvez le numéro de votre association départementale sur francealzheimer.org

🎙 une émission spéciale animée par un expert pour répondre aux questions des proches aidants et des personnes malades.
Écoutez ses conseils tous les vendredis à midi sur radiofrancealzheimer.org

Chaque jour à leurs côtés, grâce à vous

FAITES UN DON!
www.francealzheimer.org



FRANCE ALZHEIMER
& MALADIES APPARENTÉES

Crédits photos : Nicole de Khors pour Shopify Burst

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / n° 880 / Juin 2020



ÉVÉNEMENT P. 8

CONFINEMENT
Le cerveau soumis à rude épreuve

Deux mois d'isolement social ont entraîné une réorganisation de nos fonctions cérébrales, mise en évidence par l'imagerie et les études. En comprendre les mécanismes peut aider à adopter la bonne stratégie pour un déconfinement en douceur.

3 **Édito** par Dominique Leglu

7 **Courrier**

SCIENCES FONDAMENTALES

18 **ACTUALITÉS** / Un indice sur la piste de l'antimatière / Le mystère des serviettes qui durcissent en séchant / Une nouvelle carte ultraprécise de la Lune

32 **Des trous noirs en formation accélérée**

36 **Voici la première machine vivante créée par un algorithme**

39 **L'azote atmosphérique ne vient pas des volcans**

HISTOIRE

20 **ACTUALITÉS** / La première arme de jet resurgit du passé / L'arbre généalogique des lions se dessine / Les premiers Européens

40 **Le fabuleux destin de Wonderchicken**

44 **Les Olmèques, une civilisation de colosses**

47 **Buveurs de lait et mangeurs de viande au néolithique**

NATURE

22 **ACTUALITÉS** / La colonisation de l'Antarctique a commencé / Le frelon tueur a débarqué aux États-Unis / Le plus grand animal jamais observé

48 **Dans l'intimité de la floraison**

52 **Fessenheim mise en sommeil avant démantèlement**

55 **Les incroyables pouvoirs des ailes des cigales**



Un nouveau scénario pour expliquer la formation des trous noirs supermassifs. **p. 32**



Une protéine déclenche la floraison des plantes en fonction de la température. **p. 48**



Une IA traduit en mots la pensée de personnes ayant perdu la parole **p. 56**

SANTÉ

26 **ACTUALITÉS** / La peur retourne l'ADN du cerveau / Pourquoi les hommes auraient moins vite froid que les femmes / Vers un vaccin contre le diabète de type 1

56 **Une IA lit la parole dans le cerveau**

60 **Nutrition : les tartinades illuminent l'apéro**

62 **Portrait : Pierre-Yves Ancel, épidémiologiste**

64 **Le ressort caché de notre attirance pour le sucre**

65 **Un test olfactif révèle l'état de conscience**

HIGH-TECH

30 **ACTUALITÉS** / Un robot inspiré du guépard / Le drone militaire autonome selon Boeing / Une peau électronique alimentée par la sueur

66 **La voiture électrique prête à prendre la route**

70 **Ce navire hybride va transporter Ariane 6**

72 **La prédiction des crimes dans la tourmente**

74 **Comment ça marche : un potager dans sa cuisine**

RENDEZ-VOUS

76 **Le ciel de juin**

78 **C'est à voir... nos expos virtuelles**

79 **Questions de lecteurs**

80 **Décryptage : Pourquoi le projet de « Google City » a-t-il été abandonné?**

82 **L'info en continu sur sciencesetavenir.fr**

LUC NOBLE/IP - NASA, ESO, CHANDRA - JEFF FOOTT/NATUREPL/EBPHOTO - NADIA RABHI POUR SCIENCES ET AVENIR

Vous avez le sens de l'étiquette.

Bexley

Chaussures détente
Doublure cuir
89€
Prix Unique

69€ la 2ème paire au choix

Bien sûr, vous avez bon goût. Le bon goût de ne jamais faire de faute de goût quelle que soit l'occasion. Et pour ne jamais commettre d'impair vous choisissez Bexley et ses modèles assurément dans les bons codes de l'élégance, de ce qui fait l'étiquette dans toutes sociétés. Mais là où vous excellez en matière de bon goût, c'est que vous avez l'intelligence de ne pas y laisser votre chemise, de mettre le bon prix, le prix de l'exigence, de l'excellence des matières, des savoir-faire français et c'est aussi ça, avoir le sens de l'étiquette.

Nos boutiques

#lesensdeletiquette | Bexley.com

AIX-EN-PROVENCE | ANNECY | BORDEAUX | PARLY 2 - LE CHESNAY | LILLE | LYON 1ER | LYON 2ÈME | LYON 6ÈME | MARSEILLE | NANTES | NICE | PARIS 4ÈME - HENRI IV | PARIS 6ÈME - SAINT GERMAIN | PARIS 7ÈME - RASPAIL | PARIS 8ÈME - CHAUVEAU LAGARDE | PARIS 8ÈME - CHAMPS ÉLYSÉES | PARIS 8ÈME - LA BOÉTIE | PARIS 15ÈME - VAUGIRARD | PARIS 17ÈME - PALAIS DES CONGRÈS | PARIS - LA DEFENSE | TOULOUSE | BRUXELLES

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**


L'hydrogène vert a le vent en poupe

« L'hydrogène vert a le vent en poupe »
(*Sciences et Avenir* n° 878, avril 2020)

Toujours très intéressé par vos articles, notamment celui sur l'hydrogène vert du numéro d'avril. Intéressé mais toujours surpris du fait que l'hydrogène soit utilisé uniquement comme source d'électricité et non pas comme carburant. J'ai vécu une démonstration qui prouvait la deuxième possibilité. En 1980, lors d'une opération portes ouvertes au lycée technique la Baronnerie près d'Angers, j'ai vu circuler une voiture marchant à l'hydrogène : une Simca 1000 dont la carburation avait été adaptée bien entendu.

J.- F. Plasse

S. et A. : L'hydrogène pour alimenter des moteurs thermiques a été largement étudié. Des prototypes ont même été développés, notamment par BMW. Mais cette voie a été quasiment abandonnée. Aujourd'hui, l'utilisation de la pile à combustible est privilégiée. Dans la pile, l'hydrogène réagit avec l'oxygène de l'air, ce qui produit d'une part de l'eau et d'autre part de l'électricité. Celle-ci est utilisée pour alimenter le moteur électrique du véhicule. Toutefois, la voiture à hydrogène est encore freinée dans son développement par le manque de stations-service et la production d'hydrogène qui aujourd'hui émet beaucoup de gaz à effet de serre.

Sauropodes et théropodes

Merci pour votre article sur la découverte d'empreintes de dinosaures au plafond de la grotte de Castelbouc, en Lozère (*S. et A.* n° 879, mai 2020). Vous écrivez : *« C'est la première confirmation de la présence de sauropodes dans la région des Grands Causses »*. Or, il existe d'autres empreintes de dinosaures bien visibles à Saint-Laurent-de-Trèves, à quelques kilomètres de Castelbouc. Le site est superbe, ouvert au public.

Anne-Marie Mignard

S. et A. : Les empreintes de Saint-Laurent-de-Trèves sont celles de théropodes (de la même famille que le *T. rex*) qui sont des dinosaures bipèdes et carnivores. Tandis que les sauropodes sont des quadrupèdes herbivores et ceux de Castelbouc sont bien les premiers identifiés dans la région.

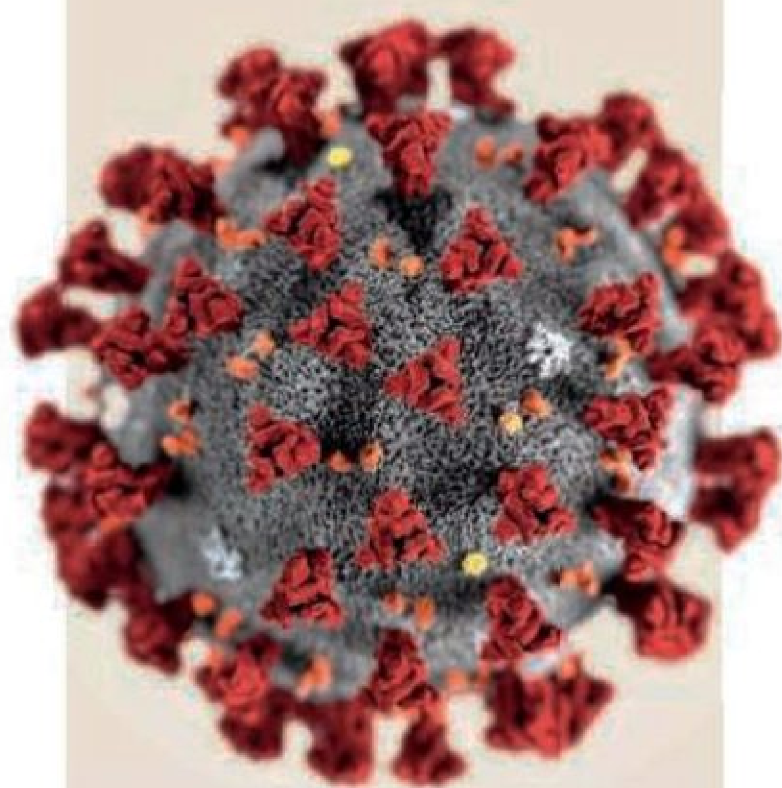
ERRATUM

Dans l'article sur le milieu interstellaire (*S. et A.* n° 879, mai 2020), la vitesse du système solaire par rapport au centre de la Galaxie n'est pas de 90 000 km/h comme écrit par erreur, mais plutôt de 900 000 km/h, c'est-à-dire de 230 km/s.

La Recherche
www.larecherche.fr
L'interaction
SOLEIL
-TERRE



EN VENTE CHEZ VOTRE MARCHAND DE JOURNAUX



I l est trop tôt pour tirer les enseignements de la crise du Covid-19, dont nous sommes loin d'être sortis. Mais l'étymologie du mot invite à la réflexion : s'il désigne aujourd'hui un temps d'incertitude, en grec, *krisis* indiquait au contraire, le moment du diagnostic où tous les symptômes apparaissent dans leur évidence. Ce temps viendra où nous saurons dire de quoi le Covid-19 aura été le syndrome. Car après huit semaines de confinement où médecine, biologie, statistique et algorithmes ont régné sans partage, voilà que l'humain, dans toute sa dimension psychique et psychologique, retrouve ses droits. À l'heure du déconfinement, force est de rappeler — certains l'auraient-ils oublié ? — que nous sommes des êtres pensants et sensibles. Nous sortons marqués — jusque dans notre cerveau ! — par cet enfermement, cette irruption de la mort, mais aussi la violence de choix inédits comme celui de ne pouvoir serrer la main de ceux qui souffrent... ou meurent. Nous entrons, hébétés, dans un monde masqué dont nous allons devoir redéfinir les contours. ■ **Carole Chatelain**

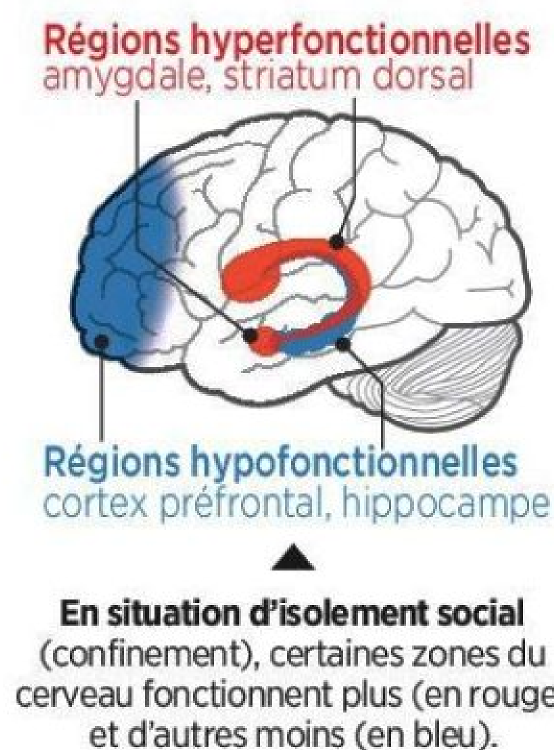
@carolechatelain

Confinement Le cerveau soumis à rude épreuve

Les Français ont vécu 55 jours enfermés. Une expérience unique qui a modifié le fonctionnement cérébral et dont l'arrêt constitue un nouveau défi cognitif.

Par Elena Sender @ElenaSender

Après deux mois confinés chez soi, isolés de nos congénères, nous constatons que nos cerveaux se sont inéluctablement adaptés et transformés. *« Si nous n'avons pas encore de publications sur cette période, nous connaissons les conséquences cérébrales de l'isolement grâce aux études antérieures »*, explique ainsi Catherine Belzung, directrice de l'unité Inserm 1253 Imagerie et cerveau, à l'université de Tours. Déjà en 2009, John Cacioppo et Louise Hawkley, du Centre de neuroscience sociale et cognitive de l'université de Chicago (États-Unis), montraient dans un article de *Trends in Cognitive Science* que le cerveau des espèces sociales — de la mouche drosophile à *Homo sapiens* — est *« considérablement affecté »* par l'isolement. *« La recherche indique que l'isolement social perçu est un facteur de risque*, notaient-ils. *Il peut contribuer à de moins bonnes performances cognitives globales, un déclin cognitif plus rapide, un mauvais fonctionnement exécutif, à plus de négativité et de cognition dépressive, à une sensibilité accrue aux menaces sociales... »* Force est de constater que le confinement est une épreuve pour le cerveau. La revue d'études faite par l'équipe de Ahmad Reza Dahpour, de l'université des Sciences médicales de Téhéran (Iran), en 2018 rapporte ainsi que l'isolement social agit *« comme un facteur de stress qui entraîne des altérations du comportement social, de la fonction des systèmes neurochimiques et neuroendocrines*



En situation d'isolement social (confinement), certaines zones du cerveau fonctionnent plus (en rouge) et d'autres moins (en bleu).

CDC/PHANIE - BRUNO BOURGEOIS









BRUNO LEVY / DIVERGENCE

Le port du masque (ici à Paris, fin avril) implique d'inventer de nouvelles modalités de communication verbale et non verbale.


JEAN-CHRISTOPHE MILHET / HANS LUCAS

Les moins de 15 ans seraient trois fois moins susceptibles d'être infectés que les adultes, selon une étude sino-italienne (ici reprise des cours avec des effectifs restreints dans une école primaire de Perpignan, le 12 mai).

ÉTUDES

Enfants et contagion, toujours l'incertitude

Sac au dos, un petit flacon de gel hydro-alcoolique glissé dans la poche par un parent, et pour les plus âgés un masque sur le visage : plus d'un million d'écoliers, collégiens et lycéens sont retournés en classe en France lors du déconfinement. Une rentrée qui soulève des inquiétudes, alors que les spécificités du Covid-19 chez les plus jeunes ne sont pas encore claires. Les données scientifiques suggèrent que s'ils sont aussi susceptibles d'être infectés que les adultes, ils y sont moins sensibles. Les enfants ne représentent ainsi que 1 à 5 % des cas de Covid-19 confirmés dans le monde et ont peu ou pas de symptômes, explique l'agence Santé publique France. Selon une étude chinoise, 59 % de ceux qui sont malades du Covid-19 ont de la fièvre, 46 % toussent, 26 % sont asymptomatiques et 12 % ont des symptômes gastro-intestinaux. Mais, confinement oblige, beaucoup d'études sur la transmission du virus par ou aux enfants n'ont pu se faire en conditions réelles, c'est-à-dire en tenant compte des multiples contacts en milieu scolaire. En 2009, des scientifiques lyonnais avaient observé 232 enfants de 6 à 12 ans : en moyenne, chacun avait 323 contacts par jour avec 47 camarades ! Ce grand nombre d'interactions semble cependant compensé par une moindre contagiosité. Le Covid-19 est en effet principalement transmis par la toux et le souffle. Or, les enfants ont un faible volume pulmonaire et souvent peu ou pas de toux. Aux Pays-Bas, l'Institut national pour la santé publique et l'environnement (RIVM) a examiné 54 familles confinées. Aucun des moins de 12 ans n'y a été le premier patient, et aucun de leurs 43 contacts ultérieurs n'avait été infecté. Selon une étude sino-italienne publiée dans *Science*, les moins de 15 ans sont trois fois moins susceptibles d'être infectés que les adultes. Pourtant, les auteurs calculent que la fermeture des écoles peut *« réduire le pic d'incidence de 40 à 60 % et retarder l'épidémie »*. Les cas graves de Covid-19 chez les enfants restent très rares. Aux États-Unis, la revue *JAMA Pediatrics* rapporte que sur 48 cas de Covid-19 hospitalisés âgés de 0 à 21 ans, 83 % (40 patients) avaient d'importantes comorbidités (des pathologies préexistantes) dont des maladies génétiques, cardiaques, ou une obésité. En France, seuls 0,001 % des moins de 20 ans infectés sont jusqu'à présent décédés du Covid-19 contre 10 % des plus de 80 ans, d'après des travaux de Sorbonne Université publiés dans *Science*. Pour l'expliquer, l'immaturité de leur système immunitaire, potentiellement moins sujet à l'infection, ou au contraire leur surexposition à d'autres virus à l'école leur conférant une protection supérieure à celle des adultes, font partie des hypothèses. ■

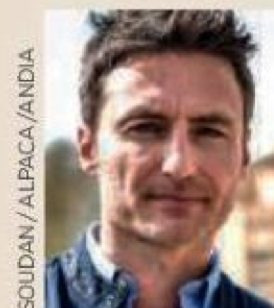
Camille Gaubert @camilleGaubert

[hormonales], *des changements physiologiques, anatomiques et comportementaux à la fois chez l'animal et chez l'humain* ». Le confinement prolongé provoque donc un stress chronique, qui, selon Catherine Belzung, induit chez l'humain une véritable *« réorganisation du cerveau »*. En imagerie cérébrale, il apparaît donc que *« certaines régions deviennent hyperfonctionnelles comme l'amygdale, cette petite structure qui s'active en cas de danger, lorsqu'on est anxieux ou stressé; ou le striatum dorsal, qui gère les comportements routiniers »*, résume la chercheuse qui cite notamment une étude réalisée chez le rat par l'équipe de Nuno Sousa, de l'université du Minho (Portugal) publiée dans *Molecular Psychiatry*, en 2016. *A contrario*, d'autres régions fonctionnent à bas régime tel le cortex préfrontal, qui assure le raisonnement et la planification, ou l'hippocampe, impliqué dans la mémorisation.

La chimie du cerveau perturbée

En outre, la chimie du cerveau elle-même a été perturbée par le confinement. Ainsi, toujours selon l'étude iranienne, l'isolement social est à l'origine d'une sécrétion élevée de cortisol ou d'adrénaline. *« Cela pourrait expliquer que l'on rencontre des difficultés à mémoriser de nouvelles choses car ces hormones, liées au stress, ont à la longue un effet neurotoxique, notamment sur les neurones de l'hippocampe »*, poursuit Catherine Belzung. Les études montrent aussi une baisse du taux de dopamine — impliquée dans l'attention, le plaisir, la motivation, le sommeil — ou de sérotonine — dans le contrôle de l'humeur. Ainsi que celle de facteurs dits neurotrophiques, lesquels aident à la fabrication de nouveaux neurones et de l'ocytocine, qui régule l'attachement, favorise les contacts physiques et sociaux. Et ce n'est pas tout! le manque de contacts physiques réels a aussi pu favoriser les molécules pro-inflammatoires (cytokines) cérébrales, qui peuvent avoir des effets neurotoxiques. Reste que chacun ne réagit pas de la même façon. *« Il existe une grande variabilité entre les individus*, nuance Catherine Belzung. *Certains ont mis en place de bonnes stratégies d'adaptation qui ont limité les impacts : aider les autres, se décentrer ou faire de l'activité physique.* » La nouvelle épreuve étant, depuis le 11 mai... le déconfinement! Il peut être une nouvelle source d'anxiété, liée à la peur d'être exposé au virus ou à la fatigue cognitive due à une hypervigilance pour assurer les gestes barrières. En outre, *« il va falloir apprendre à vivre avec la distanciation physique et le port du masque*, soulève à son tour Christophe Haag, chercheur en psychologie sociale à l'EMLyon *(lire l'interview ci-contre), et inventer de nouvelles modalités de communication* ». Les spécialistes s'accordent sur un point : *« Il faut que le cerveau se "déconfine" progressivement.* » Les spécialistes recommandent ainsi de reprendre les transports en commun ou de se rendre dans les magasins aux heures creuses pour commencer, ou de se ménager des plages de calme. La stratégie gagnante ? *« Se "défocaliser" en faisant des choses pour les autres*, assure Catherine Belzung, *qui poursuit : développer à la fois son intériorité et la solidarité demeure, en effet, la meilleure façon de contrecarrer les déficits cérébraux.* » ■

> « La stratégie gagnante : se "défocaliser" en faisant des choses pour les autres »
> **Catherine Belzung,** directrice de l'unité Inserm Imagerie et cerveau à l'université de Tours


SOUDAN/ALPACA/ANDIA

INTERVIEW

CHRISTOPHE HAAG

CHERCHEUR EN PSYCHOLOGIE SOCIALE À L'EMLYON, AUTEUR DE *LA CONTAGION ÉMOTIONNELLE* (ALBIN MICHEL, 2019)

« Communiquer ses émotions, malgré le masque, c'est possible »

Avec le port du masque généralisé, comment communiquer?

Les masques dissimulent la mâchoire, partie du visage qui exprime beaucoup d'émotions (sourire, rire, dégoût, colère...). C'est la partie que l'on observe le plus souvent dans notre société. Pourtant n'oublions pas que le plus important en matière de connexion à l'autre, ce sont les yeux ! Par exemple une expression positive authentique (un sourire) active les muscles orbiculaires, contrairement au sourire « de façade ». C'est donc l'occasion d'apprendre ou réapprendre un langage non verbal plus subtil ! Par le regard, nous communiquons la joie, la tristesse, la gratitude, la compassion, l'enthousiasme, etc. Ces émotions, si elles sont réellement ressenties, peuvent être plus contagieuses que le coronavirus !

Comment maintenir des rapports sociaux avec la distanciation physique?

Il faut s'approprier une forme de langage autre que les embrassades, le serrage de mains, les accolades... Redécouvrir l'importance des mots et sur-développer notre sensibilité auditive aux nuances de la voix. Comme disait Paul Valéry, il faut rendre la rigueur imaginative.

Comment bien sortir du confinement?

Notre cerveau, moins « sur-stimulé » durant la période de confinement, va être effectivement bombardé à nouveau de stimuli extérieurs : le bruit, l'agitation, les transports, le regard des autres... alors que nous avions plongé dans notre intériorité, expérimenté un panel d'émotions bouleversantes. La « remontée » est donc délicate car ce yo-yo émotionnel présente un risque psychologique (stress, anxiété, dépression). Le retour à la normale doit donc se faire en respectant des paliers de décompression émotionnels. On peut ainsi garder quelques routines adoptées pendant cette période, comme des plages de silence ou d'ennui. Même si le cerveau est une extraordinaire machine qui s'adapte, il est important de le déconfiner *crescendo*. ■

Propos recueillis par E. S.

Traitements, cap sur le système immunitaire

Alors que les essais utilisant des médicaments déjà disponibles montrent leurs limites, d'autres misent sur la capacité de résistance du corps humain. Trois pistes se dessinent : les anticorps du plasma sanguin, les interférons et les cellules souches.



Cinq mois après l'émergence du virus, aucune étude n'a encore apporté de preuves claires qu'un traitement était plus efficace qu'un autre contre le Covid-19. À l'heure où nous écrivons ces lignes, pas moins de 1093 essais cliniques sont recensés, dont 51 terminés. Soit plus de 300 stratégies différentes évaluées! Mais 15 d'entre elles concentrent l'essentiel des efforts avec 800 essais conduits... dont 230 pour la seule chloroquine *(lire l'encadré p. 14)*. Face à l'urgence, ce sont surtout des médicaments déjà disponibles qui ont été testés comme le remdesivir, Kaletra et l'azithromycine... pour ne citer que les plus médiatisés. Ils font notamment l'objet de comparaisons dans les essais d'envergure menés par l'Organisation mondiale de la santé (Solidarity), le Royaume-Uni (Recovery) ou l'Union européenne (Discovery). Essais dont les résultats préliminaires tardent à venir. Les nombreuses autres études en cours souffrent, pour beaucoup d'entre elles, de problèmes méthodologiques et leurs résultats, dont la significativité est limitée, apportent des données contradictoires. Et en l'absence d'un signal fort d'efficacité à ce stade, on peut d'ores et déjà penser que le bénéfice éventuel sera au mieux modéré. Mais d'autres études, en revanche, sont plus prometteuses et montent en puissance. En attendant un hypothétique vaccin *(lire p. 16)*, c'est déjà dans le système immunitaire que se trouve — peut-être — la solution pour réduire la mortalité voire la diffusion même du virus.

1 Du sang de « survivants » aux anticorps monoclonaux

Le système immunitaire des personnes qui guérissent d'une infection développe des anticorps spécifiques, les immunoglobulines G (igG). Ce sont des protéines complexes présentes dans le plasma sanguin, capables pour certaines de détecter et neutraliser le virus. En transfusant ce plasma à un malade, il est possible, en théorie, de l'aider à combattre l'infection. C'est l'objet de l'essai Coviplasm lancé par l'Inserm et l'AP-HP (Assistance publique-Hôpitaux de Paris) en avril, et de 71 autres en cours ou achevés

FACTEURS DE RISQUE

Mortalité, c'est l'âge qui compte avant tout

Si les maladies préexistantes (diabète, hypertension...) ont été pointées comme des facteurs importants d'aggravation potentielle de l'infection par le Sras-CoV-2, c'est bien l'âge qui pèse le plus lourd dans le risque de décès. À partir des données collectées auprès de 17 millions de citoyens britanniques, dont 5000 victimes du Covid-19, et à l'aide d'un traitement statistique complexe, les chercheurs ont pu isoler chaque facteur de risque. Un ajustement qui montre par exemple que l'hypertension est un facteur mineur comparé à l'âge des patients. Une donnée difficile à extraire puisque les personnes plus âgées souffrent plus souvent d'hypertension et sont surreprésentées chez les malades. Indépendamment des comorbidités, un patient âgé de 60 à 70 ans aura ainsi 30 fois plus de risque de décès qu'un jeune entre 18 et 40 ans, plus de 60 fois plus entre 70 et 80 ans... et 180 fois au-delà de 80 ans. H. J.


VINCENT BOISOT/RIVA PRESS

L'identification d'anticorps permettrait de les produire en grande quantité en laboratoire. Ils pourraient être administrés de façon préventive avec une efficacité temporaire (ici l'Institut Pasteur, à Paris, qui participe à ces recherches).

dans le monde. Ainsi, aux États-Unis, près de 16 000 patients ont déjà reçu du « sang de survivant ». L'université de Stanford, en Californie, a confirmé que la technique était sûre… sans pour autant pouvoir en mesurer le bénéfice clinique. La transfusion a déjà été utilisée dans d'autres épidémies (Sras, Ebola, grippe…), avec un succès variable. De fait, elle reste rudimentaire, notamment parce que le sang de tous les convalescents ne possède pas les mêmes capacités de défense contre l'infection. « *Il existe des millions d'anticorps différents. Certains bloquent efficacement le virus, d'autres faiblement, d'autres encore du tout. C'est très difficile de s'y repérer dans cette "soupe" d'anticorps* », explique Hugo Mouquet, chef du laboratoire Immunologie humorale de l'Institut Pasteur, à Paris. Son équipe est chargée d'identifier ces molécules neutralisantes, mais aussi les cellules du système immunitaire (lymphocytes B) capables de les synthétiser, afin de les produire en grande quantité en laboratoire, si nécessaire. En théorie, ce cocktail d'anticorps pourrait même être administré de façon préventive, comme un vaccin d'appoint, à l'efficacité temporaire. Cette technique de pointe fera l'objet d'essais dès que les meilleurs anticorps auront été identifiés.

2 Les interférons, clé de voûte de l'infection ?

Les interférons (IFN) sont parmi les premières défenses de l'organisme contre les virus. À la différence des anticorps (igG) conçus « sur-mesure » contre un pathogène par des cellules du système immunitaire dit adaptatif (lymphocytes B), ces autres protéines complexes sont une réponse innée. En effet, les interférons I, II ou III peuvent être produits par de nombreux types cellulaires dès qu'un ARN viral est détecté. Ils jouent un rôle de vigie et coordonnent la réponse immunitaire. Comme leur nom l'indique, ils interfèrent avec le virus. Ainsi, lorsqu'une cellule est infectée, elle expédie ces messagers vers les cellules voisines pour les prévenir de se préparer afin de mieux résister à l'infection. À l'heure où nous écrivons ces lignes, 31 essais cliniques sont en cours ou achevés. Attention cependant, le coronavirus suit une stratégie de contournement, comme l'a montré une équipe internationale dans la revue *Cell*. En effet, l'interféron alpha augmenterait l'expression du récep- ▶

TRAITEMENTS

Hydroxychloroquine, alerte aux troubles cardiaques

L'ancien traitement antipaludéen au centre des attentions depuis fin février peine toujours à convaincre. Promus en France par le Pr Didier Raoult, directeur de l'institut Infections-Méditerranée à Marseille, la chloroquine ou son homologue, mieux toléré, l'hydroxychloroquine sont pourtant les molécules les plus testées au monde avec 230 essais dont certains sont terminés. Mais que ce soit en début d'infection, en phase modérée ou critique, les résultats sont contradictoires. Mi-mai, deux études, française et chinoise, publiées dans le *British Medical Journal*, font même écrire à la prestigieuse revue britannique que *« considérés dans leur ensemble, ces résultats ne plaident pas pour une utilisation de l'hydroxychloroquine comme traitement de routine pour les patients atteints du Covid-19.* » De quoi refermer la piste? Rien n'est moins sûr. Pourtant, ces dernières semaines, les agences françaises (ANSM) et américaine du médicament (FDA) ont émis des alertes sur l'augmentation des troubles du rythme cardiaque associés à ce médicament, avec une centaine de cas graves recensés en France, dont quatre mortels. Toutefois, plusieurs autres essais plus solides doivent encore livrer leurs résultats d'ici à la mi-juin. Le projet européen Discovery, notamment, aurait déjà dû communiquer des données préliminaires. Mais l'effectif de 3200 patients escomptés pour apporter des résultats statistiquement significatifs est loin d'être atteint. **H. J.**



PHILIPPE TURPIN/PHOTONONSTOP

L'hydroxychloroquine (Plaquénil) est utilisée aujourd'hui contre le lupus.

teur ACE2 à la surface des cellules des fosses nasales ou des alvéoles pulmonaires, précisément celui dont se sert le virus pour entrer! Autrement dit, le mécanisme de défense serait détourné au profit de l'agresseur. Mais l'ajout d'autres types d'interférons pourrait de rééquilibrer la réponse immunitaire. Autre avantage, les interférons, déjà utilisés dans d'autres maladies comme les hépatites, sont facilement disponibles.

3 Des cellules souches contre la tempête immunitaire

De très nombreux malades du Covid-19 présentent un syndrome de détresse respiratoire associé à une inflammation de l'organisme due au virus. Cette surréaction du système immunitaire est l'une des principales causes de mortalité en réanimation (*voir S. A. nº 879*). Pour tenter de « calmer » cet emballement, plusieurs équipes se tournent vers les cellules souches et leur potentiel modulateur du système immunitaire. En particulier celles du cordon ombilical (cellules souches mésenchymateuses, CSM) aux propriétés anti-inflammatoires. Elles sont utilisées dans l'essai Stroma-Cov2, conduit dans six services de réanimation de l'AP-HP. 60 patients intubés reçoivent soit des CSM, soit un placebo, à raison de 1 million de cellules par kilo, trois fois en six jours. En tout, 50 essais sont en cours. À l'université de Lund (Suède), une équipe utilise ainsi des CSM spécifiques au poumon pour inhiber la tempête immunitaire mais aussi, dans le même temps, réparer des lésions pulmonaires. Là encore, gare aux effets d'annonce : si les cellules souches sont pleines de promesses, elles n'ont pas encore fait leur preuve sur le plan clinique. ■

Hugo Jalinière @HugoJaliniere

LA CRISE DU COVID-19 SUR

SCIENCESETAVENIR.FR

L'après-Covid
▸ Au sortir de la réanimation, la rééducation respiratoire des patients est longue et difficile. Pendant près de deux mois, elle fait intervenir des kinésithérapeutes spécialisés *(photo ci-dessous)*. sciav.fr/880Reanimation

▸ En cas d'intubation, les patients doivent aussi rééduquer leur déglutition et leur voix chez l'orthophoniste. sciav.fr/880Intubation

Tests innovants approuvés aux États-Unis
▸ Les tests sérologiques utilisés pour rechercher des anticorps dans l'organisme sont critiqués pour leur manque de fiabilité. Les autorités de santé américaines (FDA) ont approuvé en urgence un premier test fiable à 99,8 %. sciav.fr/880TestUS
▸ Un autre test innovant — de dépistage du Sras-CoV-2 cette fois — a été approuvé aux États-Unis en mai : il utilise les ciseaux de la génétique CRISPR. sciav.fr/880TestCrispr

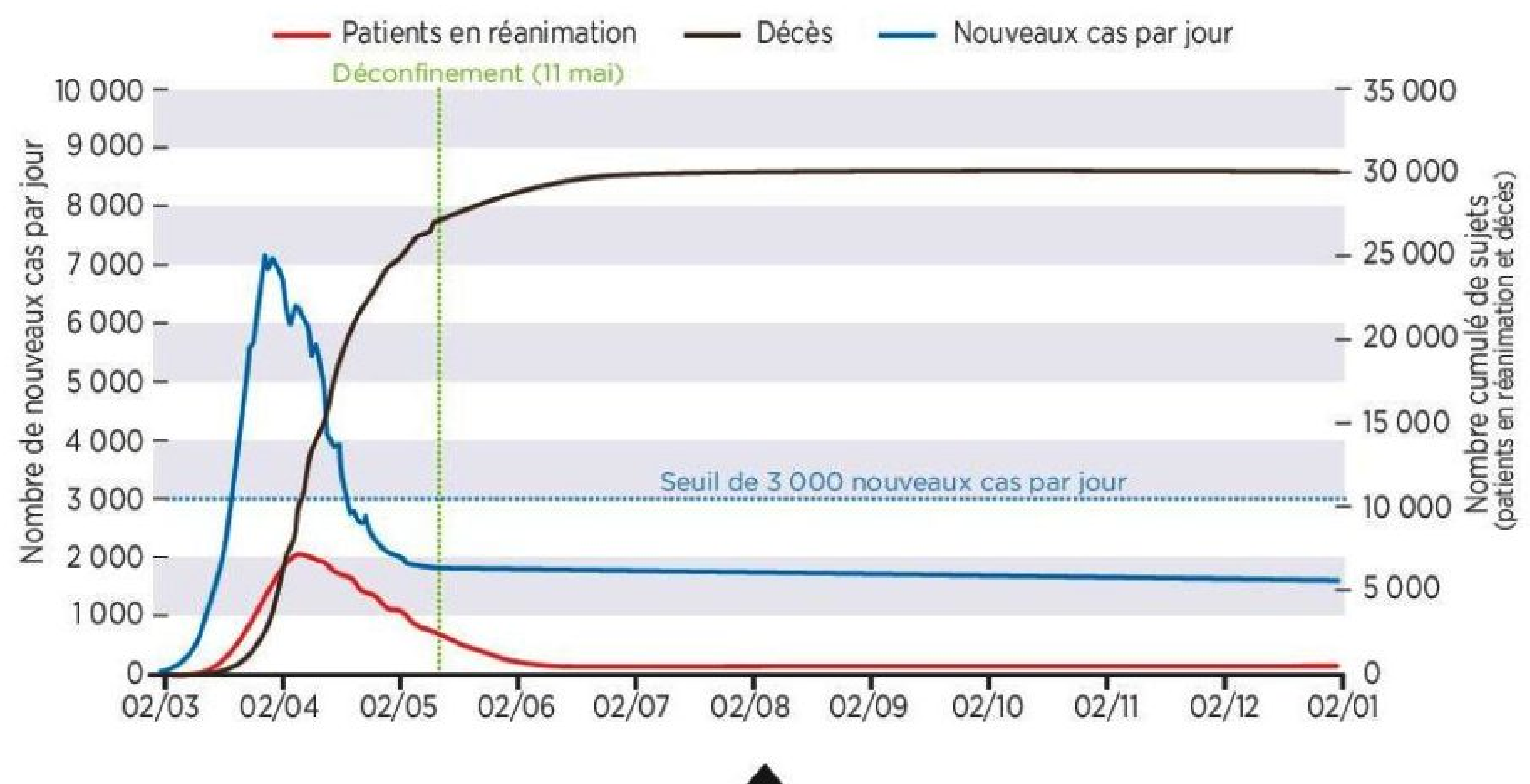
Carte du virus dans le corps
▸ Plus de 150 chercheurs de 24 pays se sont lancés dans la cartographie de toutes les interactions du virus avec le corps humain. C'est un peu comme créer une carte complète du monde, au fil des découvertes sur le virus. sciav.fr/880CarteVirus


TROUILLARD/LA NOUVELLE RÉPUBLIQUE/PQR/MAXPPP

Modéliser pour prédire ce qu'on ne voit pas encore

Le nombre de nouveaux cas journalier est un indicateur clé pour suivre au plus près l'épidémie et définir les scénarios d'évolution les plus probables.

LE PRINCIPAL INDICATEUR pour évaluer la progression de l'épidémie de Covid-19 est le nombre de nouveaux cas par jour, qui ne doit pas dépasser 3000. Ce chiffre — repris par le ministre de la Santé — représente le seuil prévu par plusieurs modèles épidémiologiques, dont celui de l'Institut Pasteur sur lequel se fonde le gouvernement. Son franchissement indiquerait que l'épidémie n'est plus maîtrisée. *« Ces modélisations sont nécessaires, car en épidémiologie on voit la situation avec un décalage, qui pour le Covid-19 est d'environ 28 jours si l'on se base sur les décès quotidiens, ou de huit à dix jours si l'on utilise le nombre de cas symptomatiques testés positifs*, explique Samuel Alizon, chercheur au laboratoire Maladies infectieuses et vecteurs : écologie, génétique, évolution et contrôle (Mivegec), où a été réalisé un modèle aux résultats similaires à ceux de l'Institut Pasteur. *Selon notre analyse, le nombre moyen de personnes infectées par un cas (R) est passé de 3 avant le confinement à 0,7 le 11 mai, montrant à quel point le confinement a permis de contrôler l'épidémie. »*



Selon le modèle du Mivegec, l'épidémie sera contrôlée si le nombre de nouveaux cas journaliers reste au-dessous du seuil (pointillés bleus), ce qui permettra de soulager les services de réanimation et d'enrayer la mortalité provoquée par le virus.

BRUNO BOURGEOIS

Trois projections établies

Le modèle du Mivegec a permis de prévoir ce qui peut arriver après le déconfinement. Dans le scénario idéal, le nombre R reste inférieur à 1 et le nombre de nouveaux cas descend régulièrement, donc se situe au-dessous de 3000 par jour. Pour cela, il faut que le nombre de contacts infectieux n'augmente pas de plus de 30 % par rapport au confinement. Si — scénario 2 — les +50 % sont atteints, le nombre R dépasserait 1 avec une augmentation lente mais constante des nouveaux cas. *« L'épidémie semblerait sous contrôle, mais aboutirait à une dizaine de milliers de décès supplémentaires dans l'année »*, précise Samuel Alizon. Scénario 3, si les mesures de distanciation physique sont relâchées, une *« deuxième vague épidémique surviendrait entre juin et juillet qui pourrait être 20 fois plus importante et bien plus meurtrière que la première, si rien n'était fait pour l'arrêter. »* ■ **Nicolas Gutierrez C.**

DIAGNOSTIQUE ET SÉROLOGIQUE

Les deux types de tests

Deux types de tests sont utilisés pour tenter de suivre la diffusion du virus sur le territoire. Le test diagnostique, dit PCR, détecte l'information génétique (ARN) du virus à partir d'échantillons prélevés dans le nasopharynx profond à l'aide d'un écouvillon. Si le prélèvement est correctement effectué, le résultat, négatif ou positif, est fiable et établit si la personne est en cours d'infection. Le test sérologique, lui, analyse un échantillon de sang pour y détecter d'éventuels anticorps produits par le système immunitaire à la suite d'une infection. Parmi les dizaines de tests développés par les laboratoires, seuls quelques-uns seront assez précis pour être validés par le Centre national de référence des virus respiratoires (Institut Pasteur) chargé de les évaluer. H. J.

Vaccins, des stratégies affinées

Une dizaine d'entreprises ont choisi une approche innovante avec des vaccins constitués d'ADN ou d'ARN. Mais ils n'ont jamais encore été testés sur l'espèce humaine.

Avec près de 200 projets de candidats-vaccins en cours, c'est peu dire que le monde de la recherche s'est lancé à l'assaut du coronavirus. Le but, comme pour tous les vaccins préventifs, étant de se prémunir de l'infection et ainsi d'enrayer la maladie. Pour cela, il faut « apprendre » à l'organisme à reconnaître son futur ennemi en lui présentant un leurre : le moment venu, il est alors en mesure d'identifier rapidement la menace et de la combattre. Mais tous les projets n'ont pas adopté la même stratégie. La plus ancienne, celle mise au point par Louis Pasteur au XIXe siècle, consiste à injecter le virus ciblé, dont la virulence sera soit atténuée, soit totalement éteinte. Bien connus, ces vaccins peuvent cependant augmenter chez certaines personnes le risque d'infection par un phénomène connu sous le nom de « facilitation d'infection par les anticorps » : ces derniers se lient au virus ou facilitent sa réplication. Et comme cette complication s'est déjà produite sur des modèles animaux au début des années 2000 avec les candidats-vaccins développés contre d'autres coronavirus, le Sras et le Mers, ce n'est pas forcément cette approche, suivie principalement par l'entreprise chinoise Sinovac et le Serum Institute indien, qui sera la plus efficace pour contrer le Sras-CoV-2.

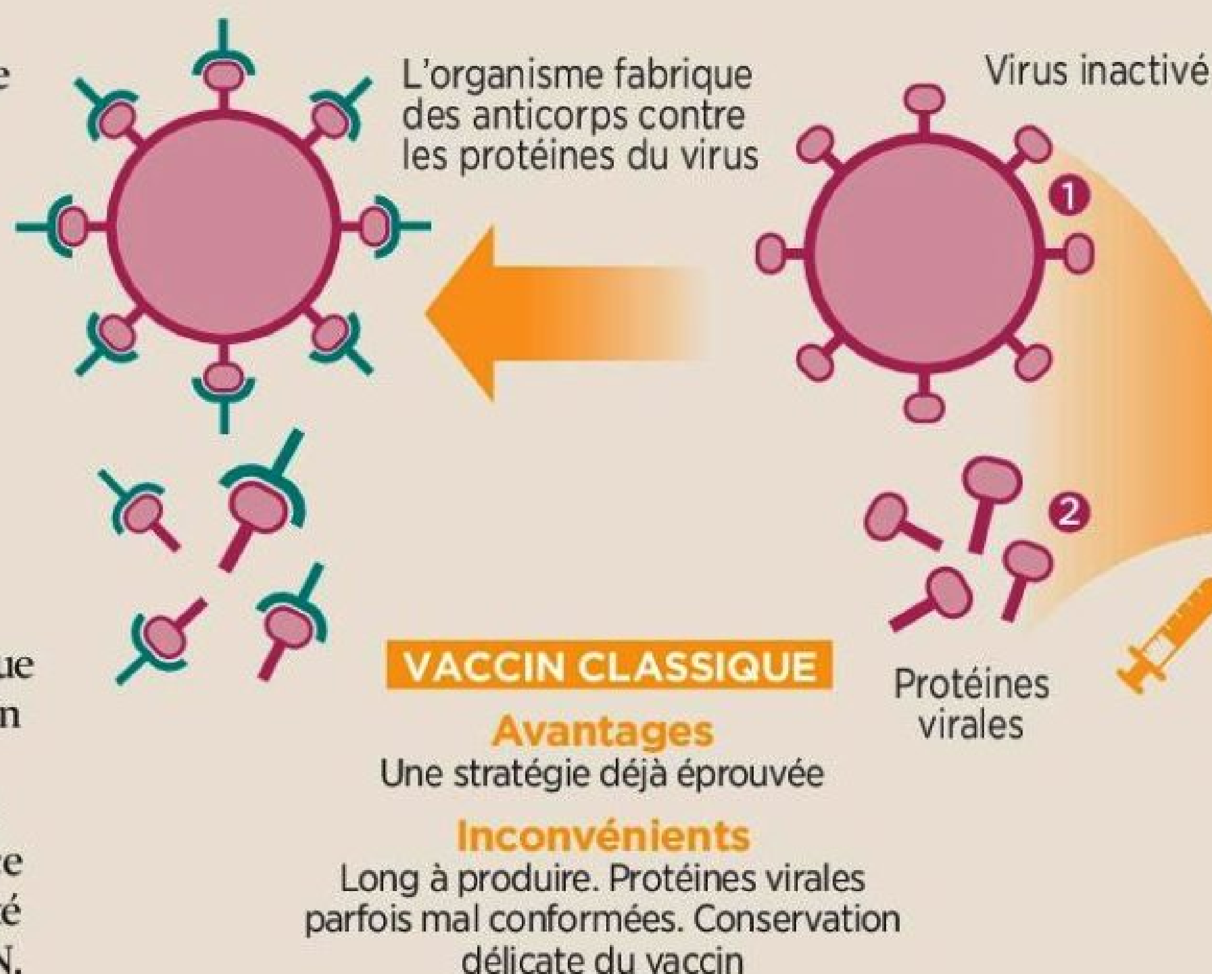
Des protéines immunogènes fabriquées par l'organisme

D'où une deuxième stratégie, privilégiée notamment par les français Sanofi et Pasteur et le britanniques GSK : seuls des fragments de virus sont inoculés, soit les protéines contre lesquelles le système immunitaire va réagir. Ici, il s'agit de la protéine de surface S, celle qui sert d'ancre au virus pour s'accrocher aux cellules.

VACCINS CLASSIQUES ET À ADN (OU ARN)

Deux approches pour obtenir l'immunité

Alors qu'un vaccin classique consiste en l'injection d'éléments viraux (virus inactivé, virus atténué ou protéines virales) pour faire réagir le système immunitaire et déclencher une défense de l'organisme, le vaccin à ADN s'appuie sur un principe différent. En effet, c'est l'organisme lui-même qui fabrique les éléments viraux à partir de l'information génétique du virus fournie dans la solution vaccinale. Un vaccin à ARN fonctionne de la même façon à l'exception près que cette fois ce n'est pas de l'ADN qui est injecté mais la molécule parente, l'ARN.



Mais fabriquer industriellement une protéine ayant la bonne forme tridimensionnelle reste extrêmement délicat. *« La dernière stratégie, la plus récente, celle des vaccins à ADN ou ARN, part donc d'une réflexion simple,* explique Bruno Pitard, directeur de recherche CNRS au Centre de recherche en cancérologie et immunologie de Nantes-Angers *: pourquoi ne pas faire produire les protéines immunogènes par l'organisme de la personne à vacciner plutôt que de les obtenir dans d'immenses fermenteurs de 1000 litres, avec le risque d'erreur de conformation que cela comporte ? Les cellules ont en effet la capacité d'en fabriquer avec la forme exacte recherchée, pour peu qu'on leur fournisse le fragment du génome du virus codant l'antigène d'intérêt.* » Une dizaine d'entreprises ont donc choisi de tenter cette approche avec des candidats-vaccins constitués soit d'ADN, soit d'ARN, les plus avancés étant les américains Inovio Pharmaceuticals et Moderna Therapeutics. Sans oublier Johnson and Johnson avec son milliard de dollars sur la table et l'annonce de la volonté d'une diffusion début 2021.

CALENDRIER

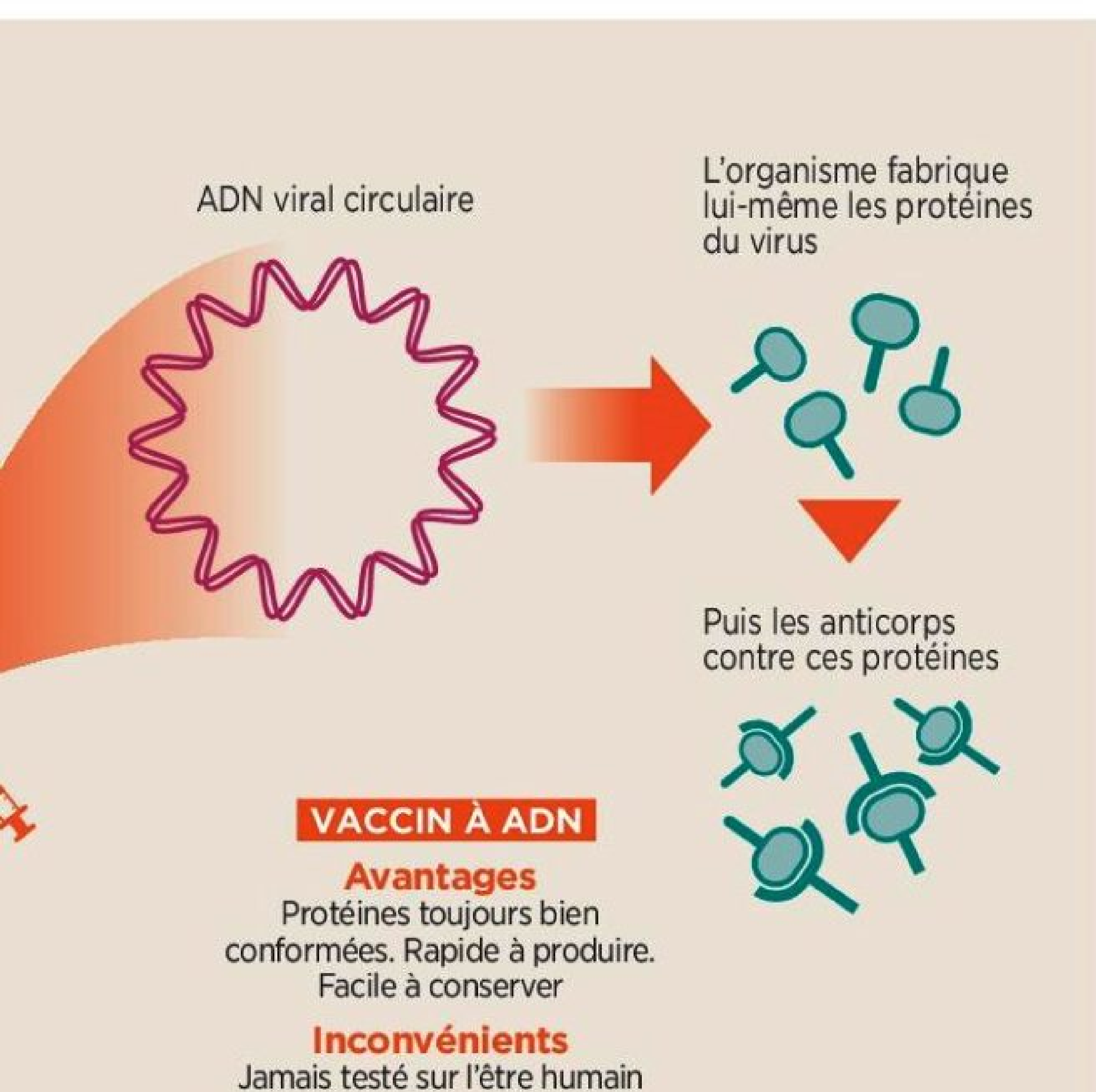
Comment la recherche brûle les étapes

Première étape : identifier la cible du vaccin, soit le virus mais plus spécifiquement ses antigènes qui déclenchent une réponse immunitaire. Cette étape franchie, la recherche peut démarrer des études précliniques sur des cultures cellulaires, puis sur des animaux. À ce stade, entre un et cinq ans se sont déjà écoulés. Vient le développement clinique, en trois temps et d'une durée d'environ cinq ans : La phase 1 teste le vaccin sur moins de 100 personnes; la phase 2 sur plusieurs centaines; la phase 3 sur plusieurs milliers. S'ensuit la demande d'approbation du produit aux autorités sanitaires avant d'entamer la production de masse et la distribution aux populations. Face à l'urgence sanitaire, la recherche d'un vaccin contre le virus du Covid-19 a nécessité de bouleverser ce calendrier, notamment en passant directement de la phase 1 à la 3.

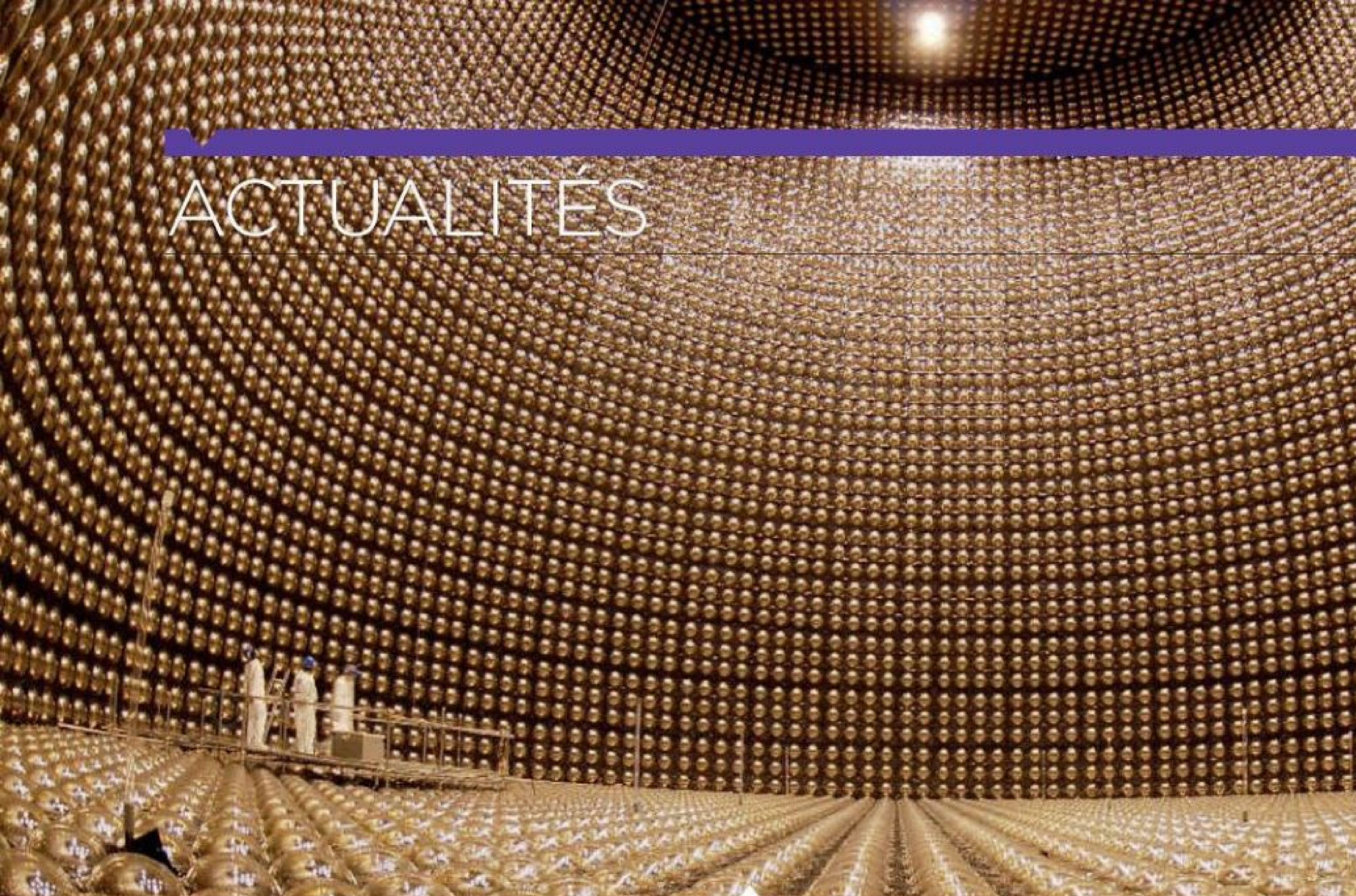
Dans le cas du Covid-19, ces ADN viraux (ou ARN, les uns dérivant des autres) injectés codent ainsi pour la protéine S de surface du virus. Mais ils sont chargés d'une autre mission : stimuler l'immunité innée, à savoir déclencher un signal de danger à l'organisme. Pour ce faire, ils sont expédiés au mauvais endroit de la cellule : le cytoplasme (corps de la cellule) pour les ADN, les endosomes (vésicules intracellulaires) pour les ARN, deux localisations où ils ne se trouvent pas naturellement. Pour les conduire à leurs lieux d'expression, il est nécessaire d'encapsider des ADN/ARN dans des vésicules spéciales comme celles conçues par l'entreprise Nanotaxi de Bruno Pitard. En outre, leur forme est volontairement inhabituelle : les ADN codant la protéine virale injectés sont circulaires *(voir l'infographie)* tandis que ceux de l'être humain sont linéaires. Comparés aux vaccins traditionnels, ceux à ADN/ARN présentent un avantage : ce ne sont pas des matériels vivants. Stables à température ambiante, ils n'ont pas besoin de chaînes de froid pour être conservés et sont ainsi moins fragiles. Pour cette raison, ces molécules sont plus faciles à produire que des organismes vivants ou semi-vivants. C'est pour cette raison qu'ils devraient être les premiers vaccins contre le Covid-19 à être commercialisés dans quelques mois. « *Les premiers tests d'efficacité de protection réelle contre l'infection dans des essais de phase 3 sur l'être humain devraient avoir lieu au second semestre de cette année* », pronostique Bruno Pitard. Ce qui serait du jamais vu en matière de recherche vaccinale puisqu'il s'écoule habituellement entre cinq et dix ans entre la mise au point et la commercialisation d'un vaccin *(lire l'encadré ci-dessus)*. Parfois beaucoup plus, celui contre la dengue ayant nécessité trois décennies ! Mais l'urgence sanitaire face au Covid-19 a précipité la dynamique.

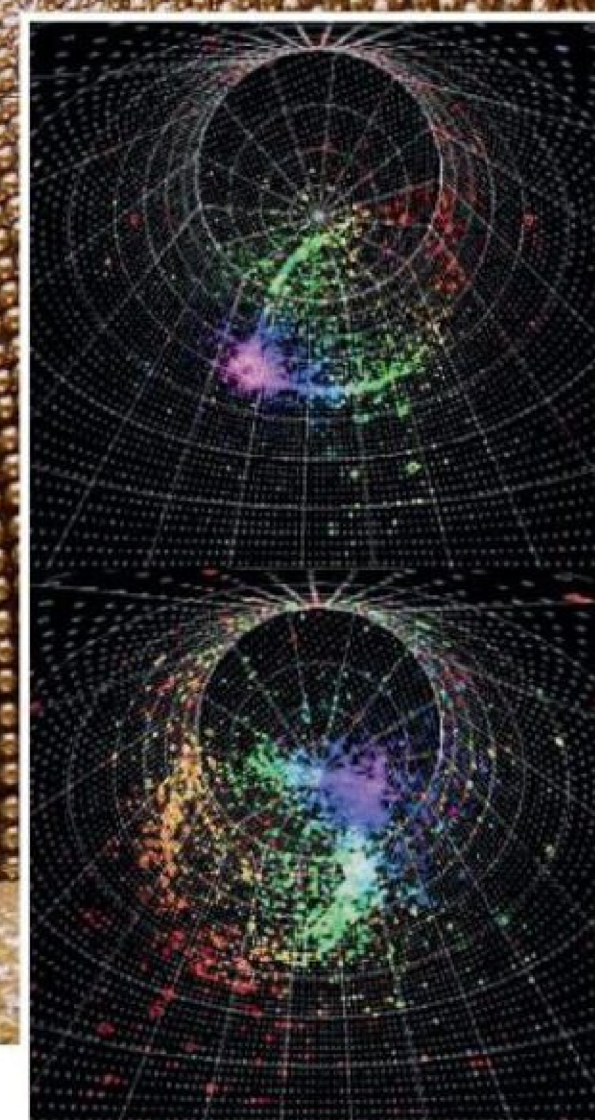
Des tests sur l'humain d'ici à quelques mois

Les résultats des premiers vaccins à ADN/ARN sont très attendus car aucun n'a encore jamais été commercialisé. « *Plusieurs vaccins à ARN ont été testés sur notre espèce par le passé mais aucun n'a dépassé les phases cliniques,* poursuit Bruno Pitard. *Quant aux vaccins à ADN, il en existe trois commercialisés pour des animaux : les saumons d'élevage afin de les protéger d'une maladie du pancréas ; les poulets pour qu'ils ne développent pas la grippe aviaire ; et les chiens pour les prémunir d'un cancer buccal.* » Contre le Covid-19, ces tests humains dans quelques mois seront donc peut-être une rampe de lancement pour les vaccins du futur. ■ **Hervé Ratel**



BRUNO BOURGEOIS





L'expérience T2K qui aboutit au détecteur Super-Kamiokande, au Japon (ci-dessus), a observé une différence d'oscillation entre neutrino (à droite, en haut) et antineutrino (en bas).

T2K INTERNATIONAL COLLABORATION

Un indice sur la piste de l'antimatière

Une expérience japonaise a observé une différence de comportement entre neutrinos et antineutrinos.

PHYSIQUE C'est un précieux indice pour la quête de l'antimatière, ce double de la matière qui aurait été produit en quantités égales à celle-ci au moment du Big Bang : l'expérience japonaise T2K (Tokai to Kamiokande) vient de mettre en évidence une différence de comportement entre neutrinos et antineutrinos. Les chercheurs ont constaté que les neutrinos « oscillent » plus que les antineutrinos. Pour bien comprendre, il faut savoir que ces particules existent sous trois formes appelées « saveurs » — électronique, muonique et tauique. En 1998, des physiciens ont découvert que les neutrinos présentent un comportement quantique appelé oscillation, qui se traduit par le fait que tout en se propageant, les neutrinos passent d'une saveur à l'autre. « *Cela implique qu'ils possèdent une masse, mais elle doit être extrêmement petite, de sorte que nous ne l'avons pas mesurée* », rappelle Sara Bolognesi, du CEA (Saclay, Essonne), une des signataires de l'article. Cette différence dans la manière d'osciller pourrait ouvrir une piste pour aider à comprendre ce qu'est devenue l'antimatière depuis le Big Bang. **A. Kh.**

IL A DIT

« Il est très étonnant que la plupart des étoiles semblables à notre soleil soient bien plus actives que lui »

Alexander Shapiro, de l'Institut Max-Planck de recherche sur le système solaire à Göttingen (Allemagne) et coauteur d'une étude dans laquelle le Soleil a été comparé à 369 autres étoiles.

IDÉE NEUVE

L'astéroïde de Toungouska ne se serait pas écrasé

ASTRONOMIE Le mystérieux événement de la Toungouska qui a balayé 2000 km² de forêt en Sibérie, le 30 juin 1908, a pu être provoqué par un astéroïde qui a juste rasé la surface de la Terre. L'objet de 100 à 200 mètres de diamètre serait passé à seulement 11 km de la surface à très grande vitesse avant de repartir dans l'espace. Une théorie qui explique l'absence de cratère d'impact. **J. I.**

SOURCE : DANIIL KHRENNIKOV, SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY KRASNOÏARSK, RUSSIE.



LEEMAGE

Aucun cratère d'impact n'a été découvert après le passage de l'astéroïde en Sibérie en 1908 (ici une vue actuelle de la zone).

L'exoplanète qui a disparu

ASTRONOMIE Fomalhaut Ab, la première exoplanète identifiée par imagerie optique en 2008, sur la base d'observations réalisées par le télescope spatial Hubble en 2004 et 2006, n'était qu'une illusion ! De nouvelles observations ont montré qu'elle a complètement disparu. Pour les astronomes, il s'agissait en réalité d'un nuage de poussières causé par la collision de deux comètes à proximité de l'étoile. **J. I.**

SOURCE : ANDRÁS GÁSPÁR, THE UNIVERSITY OF ARIZONA, TUCSON ÉTATS-UNIS.

Ryugu a pris un coup de Soleil

ASTRONOMIE Les images prises lorsque la sonde japonaise Hayabusa-2 a touché la surface de l'astéroïde Ryugu en 2019 laissent apparaître des zones rouges à la surface de celui-ci. Il s'agirait de marques laissées par le Soleil lors d'un passage à proximité de notre étoile que les auteurs estiment bref. Une hypothèse à confirmer avec les échantillons que la sonde doit rapporter sur Terre à la fin de l'année. **H. Ru.**

SOURCE : T. MOROTA, UNIVERSITÉ DE TOKYO, JAPON.



PLAINPICTURE

Des molécules d'eau s'agrègent lors du séchage à l'air libre, entraînant un raidissement du coton.

Le mystère des serviettes qui durcissent en séchant

CHIMIE Des chercheurs japonais viennent d'établir que si les serviettes en coton se raidissent lorsqu'elles sèchent à l'air libre c'est parce qu'un peu d'eau subsiste entre les fibres du tissu. Les molécules s'y attachent les unes aux autres, formant une pellicule non étirable. Le phénomène disparaît si l'on élimine toute l'eau, en séchant sous vide. **I. L.**

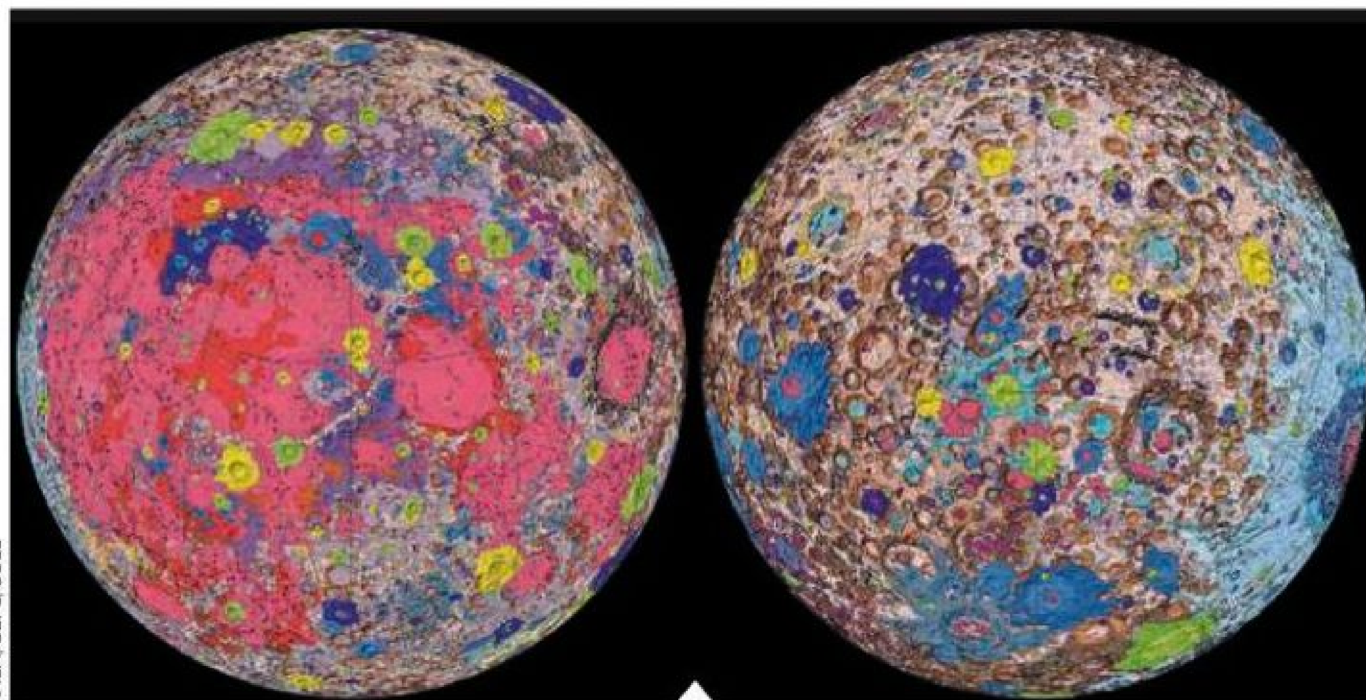
SOURCE : KEN-ICHIRO MURATA, UNIVERSITÉ D'HOKKAIDO, JAPON.

-3,2 milliards d'années

Le début de la tectonique des plaques

GÉOLOGIE **Cette nouvelle estimation repose sur l'analyse magnétique d'échantillons de roches prélevés en Australie. Elle recule d'un demi-milliard d'années l'époque du démarrage de la dynamique de la lithosphère.** **A. Kh.**

SOURCE : ALEC BRENNER, UNIVERSITÉ HARVARD, CAMBRIDGE, ÉTATS-UNIS.



NASA/GSFC/USGS

La géologie de la Lune, face visible (à gauche) et face cachée (à droite).

Voici la nouvelle carte ultraprécise de la Lune

SÉLÉNOGRAPHIE Le centre américain des sciences astrogéologiques a révélé une nouvelle carte de la Lune, réalisée notamment avec les dernières données des sondes Selene de la Jaxa (agence spatiale japonaise) et Lunar Reconnaissance Orbiter de la Nasa. Elle affiche une résolution au 1/5 000 000, où un centimètre représente 50 km sur l'astre sélène. **M. N.**

QUESTIONS À

Sébastien Lebonnois

S. LEBONNOIS

Directeur de recherche au Laboratoire de météorologie dynamique (Sorbonne Université)

Pourquoi les vents de Vénus sont-ils si rapides ?

Soixante ans après avoir été identifiée sur Vénus, la « super-rotation » de son atmosphère trouve enfin une explication solide.

En quoi consiste ce phénomène de super-rotation ?
L'atmosphère de Vénus tourne 60 fois plus vite que la planète elle-même. Elle ne met que quatre jours terrestres à faire un tour complet, tandis qu'il en faut 243 pour la surface [sur la Terre, l'atmosphère tourne quasiment à la même vitesse que la surface]. Un phénomène unique pour les planètes du Système solaire que les scientifiques s'échinaient depuis des décennies à expliquer…

Qu'est-ce qui permet aujourd'hui de le comprendre ?
Les données fournies par l'orbiteur japonais Akatsuki, qui depuis 2015 scrute l'atmosphère de Vénus avec des caméras infrarouges et un imageur ultraviolet. Ces instruments ont permis de décrire, au sommet des nuages, les vents et les transports d'énergie avec une précision inédite. Des chercheurs de l'université de Hokkaido, au Japon, ont donc mis en évidence un processus clé.

De quoi s'agit-il ?
Le rôle joué par les « marées thermiques » : des ondulations générées dans l'atmosphère lorsque le Soleil chauffe le côté « jour » de Vénus. Elles transportent l'énergie des vents verticalement, des hautes vers les basses altitudes, mais aussi horizontalement, des pôles vers les régions équatoriales. Les vents atteignent ainsi 400 km/h à l'équateur. **Propos recueillis par F. D.**


BENOIT CLARYS

Les bâtons de jet étaient lancés en tournoyant vers leur cible à la manière d'un boomerang (ci-contre, celui découvert à Schöningen, en Allemagne).

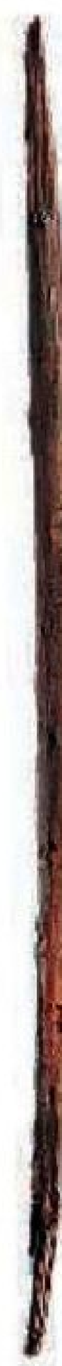
La plus vieille arme de jet resurgit du passé

Ce bâton en bois d'épicéa était utilisé comme projectile par un ancêtre de Neandertal.

BALISTIQUE Une arme préhistorique vieille de 300 000 ans ! Le bâton de jet découvert par des scientifiques de l'université de Tübingen (Allemagne) est le plus ancien jamais mis au jour. Conservé dans les sédiments boueux d'une ancienne mine de lignite à Schöningen, il révèle comment chassait Homo heidelbergensis, un ancêtre présumé de Neandertal.

En bois d'épicéa, long de 64,5 centimètres, ce bâton de jet présente des traces d'utilisation semblables à celles relevées sur des armes proches dont l'usage est attesté parmi les populations aborigènes d'Australie et de Tasmanie. Les hommes du paléolithique les utilisaient principalement pour chasser du petit gibier, des oiseaux aquatiques, des lapins mais aussi des chevaux. Des ossements de cygnes, de canards et d'équidés ont d'ailleurs été recueillis à proximité de cette arme.

Les observations ethnographiques indiquent que les bâtons de jet étaient lancés par la pointe : ils tournoyaient alors autour de leur centre de gravité jusqu'à atteindre la cible. Bien que proches du boomerang, ils n'étaient pas destinés à revenir vers le lanceur. **B. A.**


N.J. CONARD ET AL.

Un pigment médiéval perdu et retrouvé

CODICOLOGIE Des scientifiques viennent de retrouver le secret d'un bleu-pourpre, le *folium*, utilisé jusqu'à la fin du XVe siècle par les enlumineurs médiévaux et dont la recette était tombée dans l'oubli. C'est un traité du XVe siècle qui les a mis sur la piste d'une plante, la *Chrozophora tinctoria*. Ils en ont isolé la molécule responsable de cette couleur (la chrozophoridine). **B. A.**

SOURCE : P. NABAIS, NOUVELLE UNIVERSITÉ DE LISBONNE, PORTUGAL.


PAULA NABAIS, NOVA UNIVERSITY

Les fruits de « C. tinctoria » étaient aussi utilisés pour teindre des étoffes.

L'éruption du volcan Santorin a eu lieu en 1560 avant J.-C.

DENDROCHRONOLOGIE Cataclysme dévastateur pour toute la Méditerranée orientale, l'éruption du volcan Santorin en mer Égée a été datée autour de 1560 avant J.-C. grâce à l'étude des cernes d'une poutre en genévrier d'une tombe antique en Turquie. Cette année présente en effet une anomalie d'absorption du calcium visible dans les cernes du bois. **P. K.**

SOURCE : STURT W. MANNING, CORNELL UNIVERSITY, ITHACA, ÉTATS-UNIS.

-4900 ans

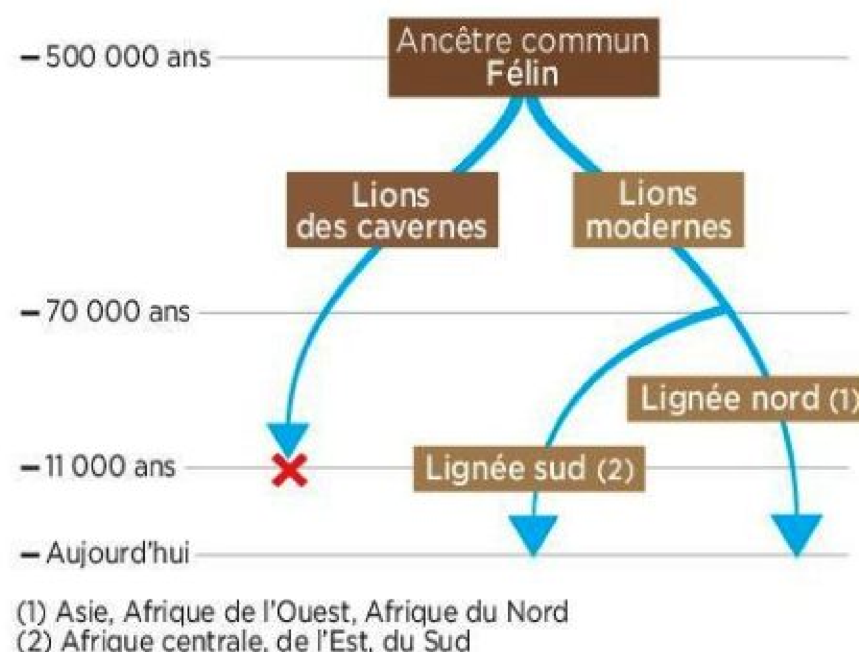
Le lièvre est domestiqué

NÉOLITHIQUE Une analyse isotopique d'ossements de lièvres provenant du plateau de Lœss, dans le nord de la Chine, révèle que ces animaux se sont mis à consommer beaucoup de millet il y a près de 5000 ans. Il est donc possible que les agriculteurs chinois du néolithique final aient nourri ces animaux de manière délibérée. **A.-S. T.**

SOURCE : PENGFEI SHENG, UNIVERSITÉ FUDAN, SHANGHAI, CHINE.

Un ancien site rituel découvert en Irak

ARCHÉOLOGIE Un puits rituel (*favissa*) utilisé il y a 5000 ans pour des cérémonies destinées à apaiser le dieu de la Guerre mésopotamien Ningirsu a été découvert en Irak sur le site de Telloh, l'antique Girsu. À l'intérieur de la fosse sacrée se trouvaient plus de 300 récipients et des os d'animaux sacrifiés. **B. A.**



BRUNO BOURGEOIS

« Panthera leo », le lion moderne, n'est pas le descendant du lion des cavernes, *Panthera leo spelaea*, mais ils ont un ancêtre commun.

L'arbre généalogique des lions se dessine

PALÉONTOLOGIE L'étude génétique de deux lions des cavernes, 12 lions de populations éteintes en Afrique et au Moyen-Orient, tels les lions du Cap ou de l'Atlas, et six lions modernes d'Afrique et d'Inde permet de dresser l'arbre généalogique d'une espèce autrefois répandue dans tout l'Ancien Monde. Selon les analyses, les lions des cavernes ne se sont jamais hybridés avec leurs cousins modernes, qui ont donné naissance de leurs côtés à deux lignées distinctes. **R. M.**

SOURCE : MARC DE MANUEL, INSTITUT DE BIOLOGIE ÉVOLUTIONNISTE, BARCELONE, ESPAGNE.



LEEMAGE

Les épées rituelles de l'âge du bronze servaient toutes au combat

PROTOHISTOIRE Les épées retrouvées dans les tombes et dépôts métalliques européens de l'âge du bronze n'avaient pas qu'une fonction symbolique ! Toutes avaient été utilisées au combat. Des chercheurs de l'université de Newcastle (Royaume-Uni) ont examiné au microscope des microtraces sur 110 épées : elles sont identiques à celles observées sur des répliques utilisées dans des reconstitutions de combats. **B. A.**

Des armes retrouvées en Allemagne et Italie *(ci-contre)* ont été étudiées. ▶



NATIONAL GEOGRAPHIC

Le spinosaure possédait une queue qu'il pouvait utiliser comme une pagaie.

Des esclaves africains identifiés en Amérique



R. BARQUERA & N. BERNAL

Ce crâne de 500 ans exhumé à Mexico serait celui d'un individu originaire d'Afrique.

PALÉOPATHOLOGIE Trois hommes inhumés il y a 500 ans dans le cimetière d'un hôpital colonial de Mexico (Mexique) pourraient appartenir à la première génération d'Africains arrivée dans le Nouveau Monde. Leur analyse génétique a révélé qu'ils étaient originaires d'Afrique de l'Ouest. Les squelettes montrent des blessures par balle, des fractures, des traces de malnutrition et d'anémie, ce qui suggère qu'il pourrait s'agir d'esclaves. **B. A.**

SOURCE : RAPHAEL HERMANN, UNIVERSITÉ DE GÖTTINGEN, ALLEMAGNE.

Ce dinosaure prédateur avait un passé aquatique

PALÉOZOOLOGIE **Une queue fossilisée de spinosaure découverte au Maroc trahit le passé aquatique de ces immenses dinosaures théropodes qui fréquentaient toute l'Afrique du Nord actuelle. Son analyse révèle qu'elle était garnie d'une série d'épines neurales très hautes et qu'elle avait la forme d'une pagaie. De quoi permettre aux spinosaures de se mouvoir dans l'eau d'une manière similaire à celle des crocodiles modernes. J. I.**

SOURCE : NIZAR IBRAHIM, UNIVERSITÉ DE DETROIT, ÉTATS-UNIS.

Les premiers Européens

Des fossiles d'« Homo sapiens » de plus de 43 000 ans ont été retrouvés dans une grotte en Bulgarie.

PALÉOANTHROPOLOGIE Des preuves de la présence d'*Homo sapiens* en Europe dès -46 940 et -43 650 ans ont été découvertes dans la grotte de Bacho Kiro, en Bulgarie. Les chercheurs de l'Institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste (Allemagne) qui l'ont fouillée ont découvert dans une couche sédimentaire des milliers d'os d'animaux, des outils en pierre et en os et les restes de cinq fossiles humains dont une molaire qui contenait de l'ADN parfaitement conservé. Son analyse a confirmé qu'il s'agissait de restes d'humains modernes dont c'est la plus vieille trace sur notre continent.

Plusieurs pièces d'ornement ont aussi été retrouvées dont des colliers en dents d'ours étonnamment similaires à ceux fabriqués, plus tard, par des néandertaliens en Europe occidentale. Ce qui confirme que les *sapiens* ont côtoyé ceux-ci. Cette découverte conforte par ailleurs l'hypothèse selon laquelle *sapiens* a conquis l'Europe en plusieurs vagues jusqu'à supplanter les néandertaliens qui ont disparu il y a 30 000 ans. **J. I.**



TSENKA TSANOVA



Le site de Bacho Kiro, en Bulgarie, a livré, outre les restes de 5 humains modernes, des outils (à droite) identiques à ceux des néandertaliens.



La colonisation de l'Antarctique a commencé

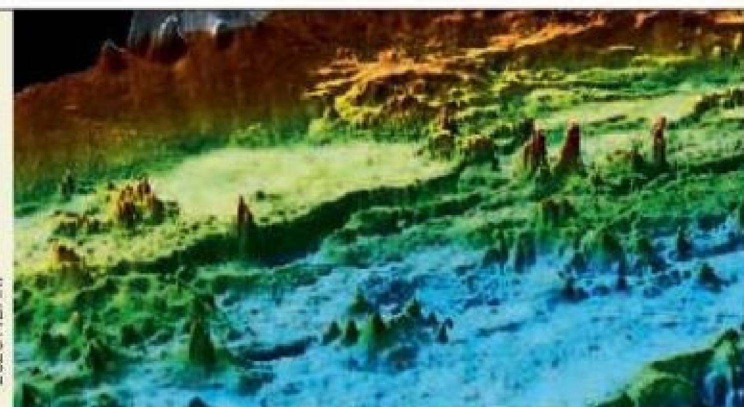
Le réchauffement des eaux australes favorise l'implantation de moules venues d'ailleurs.



SERGIO PITAMITZ/BIOSPHOTO - NATURAGENCY

Les mollusques pourraient s'être accrochés à la carène d'un navire en transit.

BIODIVERSITÉ Un premier cas d'espèce non indigène vient d'être découvert dans les eaux de l'océan Antarctique. Celui-ci n'est donc plus un milieu hermétique, isolé par le puissant courant circumpolaire. Une équipe de chercheurs chiliens a étudié des éponges et des coraux prélevés en 2019 sur un tombant rocheux de l'île du Roi-George. Leur travail a dévoilé la présence incongrue d'une quarantaine de jeunes moules *Mytilus platensis*, une espèce de l'hémisphère Sud abondante en Patagonie.
Ces individus juvéniles de quelques millimètres sont probablement issus d'un même épisode de reproduction de moules accrochées à la carène d'un bateau en transit, aucun spécimen adulte n'ayant été collecté sur place. Cet épisode pourrait être dû à la coïncidence de deux phénomènes : l'intensification du trafic maritime, qui favorise le transport d'organismes vivants, et le réchauffement des eaux australes. **S. R.**



2020 MBARI

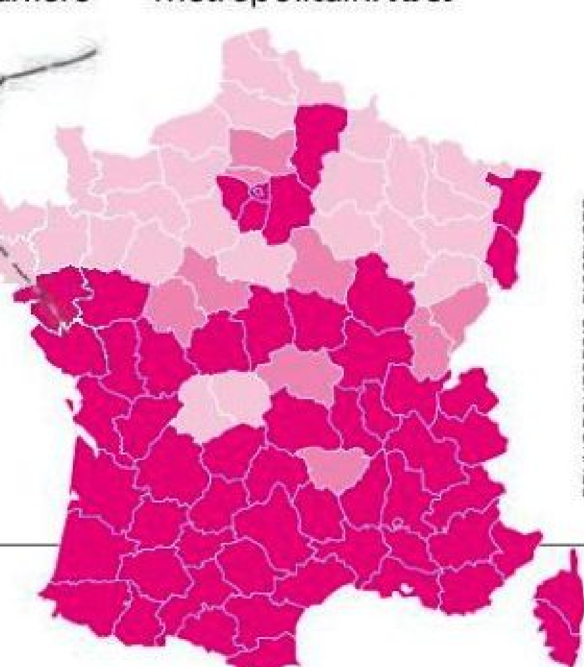
Une forêt de cheminées sous-marines

OCÉANOGRAPHIE Après 140 heures de plongées, un drone sous-marin a réalisé la première cartographie du site Endeavour à 350 kilomètres au large de l'État de Washington (États-Unis) : une vallée de 14 kilomètres de long hérissée de cheminées hydrothermales pouvant atteindre plus de 30 mètres de haut ! Ce champ volcanique est exploré depuis 1982 mais son accès difficile n'avait pas encore permis d'en dresser la carte. Au total, les images radar ont dénombré pas moins de 572 « fumeurs noirs » de plus de 3 mètres. **S. R.**

Le moustique tigre s'implante dans l'Hexagone

ESPÈCES INVASIVES
58 départements de l'Hexagone sont désormais concernés par une présence active du moustique tigre (*en rose foncé ci-dessous*) selon le ministère de la Santé. Soit 16 de plus qu'en 2018. *Aedes albopictus* a été intercepté de manière ponctuelle (*rose clair*) dans 9 autres, tandis que les 29 restants sont sous surveillance (*en rose moyen*). Le moustique tigre, vecteur de la dengue, du chikungunya ou du virus Zika, finit peu à peu de s'implanter sur le territoire métropolitain. **H. J.**





58 départements (en rose foncé) sont colonisés par *Aedes albopictus*.

BRUNO BOURGEOIS - BIOSPHOTO



VICTORIA DRUETTA

20 cm

La taille du plus gros grêlon

MÉTÉOROLOGIE
L'orage de grêle « gargantuesque » qui s'est abattu sur Villa Carlos Paz (Argentine) le 8 février 2018 aurait produit les plus gros grêlons jamais enregistrés, d'après une nouvelle analyse des vidéos et photos prises par les habitants. L. C.

SOURCE : MATTHEW KUMJIAN, UNIVERSITÉ DE PENNSYLVANIE, ÉTATS-UNIS.

Moins de déchets en France



39 MILLIONS DE TONNES
580 kg/hab
-2 % en dix ans



63 MILLIONS DE TONNES
900 kg/hab
-15 % en dix ans

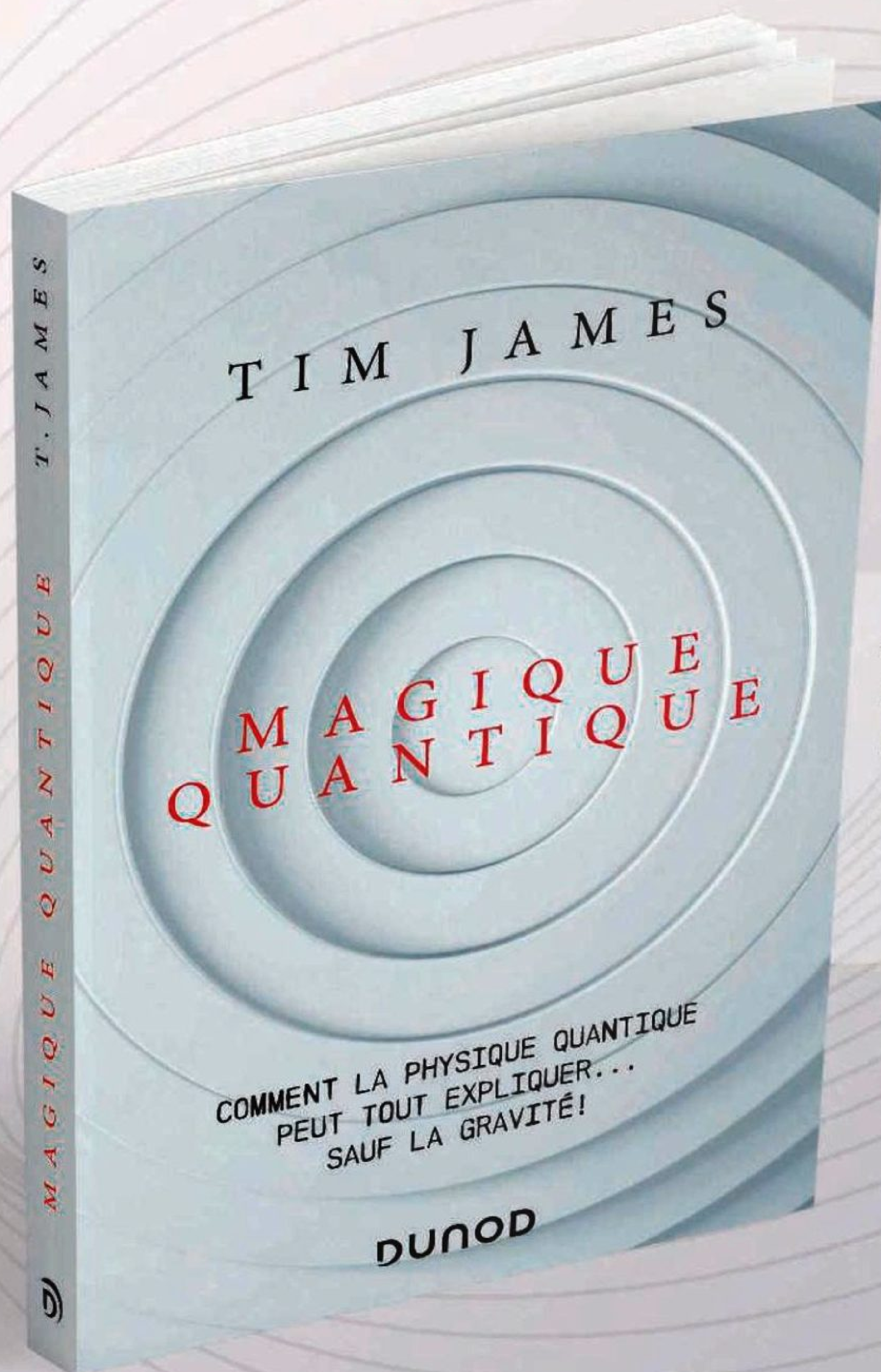


224 MILLIONS DE TONNES
3400 kg/hab
-5 % en dix ans

BRUNO BOURGEOIS

ENVIRONNEMENT
C'est peu mais c'est tout de même encourageant. Entre 2008 et 2017, le volume des déchets des ménages français a baissé de 2 %. Mais pour l'Ademe, l'Agence de la transition écologique, qui publie ces chiffres, la marge de progression du recyclage demeure immense. En effet, moins des deux tiers des déchets produits chaque année en France sont récupérés pour un nouvel usage ou la production d'énergie. L. C.

Des univers parallèles à l'antimatière,
laissez-vous guider par le facétieux **Tim James**
à la découverte des bizarreries du monde
de l'infiniment petit !



DISPONIBLE EN LIBRAIRIE

« Drôle, léger et profond, avec des analogies originales, parlantes et tranchantes... »

CHARLES ANTOINE
Auteur de
Schrödinger à la plage

9782100806935 - 256 pages
19,90 euros

DUNOD
une page d'avance

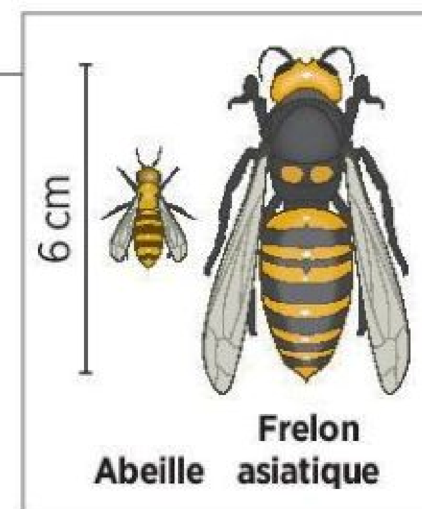
Ainsi s'hydratent les koalas

ÉTHOLOGIE **Pour boire, les koalas ne misent pas seulement sur l'eau contenue dans les feuilles d'eucalyptus : une étude pilotée par l'université de Sydney (Australie) relate que ces marsupiaux lèchent le tronc des arbres lors d'un épisode pluvieux et absorbent l'eau qui ruisselle dessus. Ce qui les rend d'autant plus vulnérables au plus long épisode de sécheresse jamais documenté que traverse l'île-continent.** **A.-S. T.**


ECHIDNA WALKABOUT/KOALA CLANCY FOUNDATION

Le koala s'abreuve en léchant le tronc des arbres après la pluie.


KAZUO UNNO/OASIS/BIOSPHOTO



BRUNO BOURGEOIS

« Vespa mandarinia » est cinq fois plus grande que ses victimes, les abeilles. Elle peut en massacrer 300 en une heure.

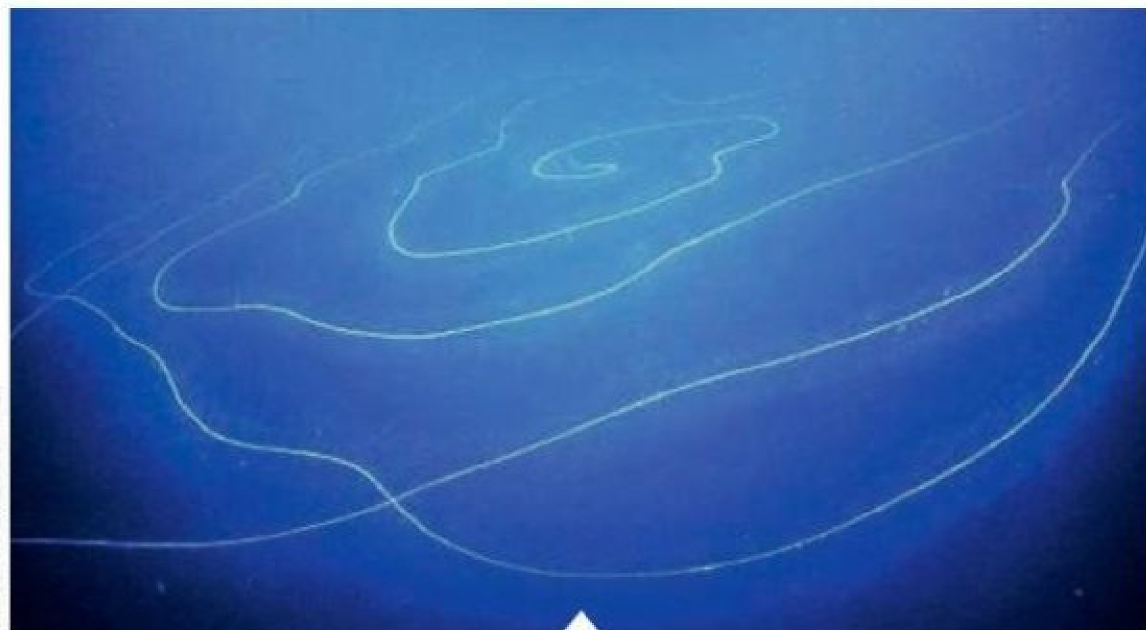
Le frelon tueur a débarqué aux États-Unis

Ce monstre de six centimètres de long originaire d'Asie, qui ravage les ruches, est mortel aussi pour les humains.

ENTOMOLOGIE Le « Godzilla » des abeilles vient d'être repéré sur le continent américain dans l'État de Washington. Considéré comme le plus gros frelon du monde, ce monstre fait cinq fois la taille d'une abeille, soit six centimètres de long et près de dix d'envergure. En provenance d'Asie, *Vespa mandarinia* s'attaque essentiellement aux ruches qu'il décime en décapitant ses occupantes grâce à ses énormes mandibules. On estime qu'un seul individu peut en massacrer 300 en moins d'une heure ! Doté d'un dard puissant à même de percer une tenue d'apiculteur, l'insecte est également mortel pour l'espèce humaine. Au Japon, une cinquantaine de personnes en sont victimes tous les ans. Si rien n'est fait pour stopper sa progression, les scientifiques estiment que, compte tenu des nombreux échanges commerciaux entre continents, rien n'empêchera ce monstre de débarquer tôt ou tard en Europe. **H. R.**

Le plus grand « animal » jamais observé

OCÉANOGRAPHIE Des chercheurs du Western Australian Museum ont photographié au large de l'Australie le plus long animal jamais observé. Il s'agit d'un siphonophore géant, une sorte de cnidaire, mesurant 45 mètres. En réalité, il ne s'agit pas d'un organisme unique, mais d'une colonie de minuscules organismes qui se clonent des milliers de fois en des corps spécialisés : une partie attrape des proies tandis qu'une autre digère la nourriture et qu'une dernière déplace l'ensemble. **A.-S. T.**


SCHMIDT OCEAN INSTITUTE

Ce sinophore géant est en fait une colonie d'organismes minuscules.

Pour protéger les rhinocéros, des oiseaux donnent l'alerte

MUTUALISME **En langue swahili, le pique-bœuf à bec rouge, *Buphagus erythrorynchus*, est appelé *Askari wa kifaru* ou « garde du rhinocéros ». Or une équipe internationale de biologistes vient d'observer en Afrique du Sud que les rhinocéros détectent et évitent les humains plus efficacement lorsqu'ils portent sur leur dos cet oiseau. Car celui-ci a une vue perçante et émet des cris lorsqu'il repère un danger. En retour, l'oiseau se nourrit de tiques présentes sur leur corps.** **R. M.**


STEPHANIE SMITH, FIELD MUSEUM

Des vertèbres entremêlées assurent une résistance dorsale sans égale.

L'incroyable dos de la musaraigne

ANATOMIE C'est un rongeur africain de quelques grammes seulement mais sous sa peau se cache une ossature à nulle autre pareille. *Scutisorex somereni* possède en effet une colonne vertébrale constituée de vertèbres entremêlées, révèlent ces images en tomographie. Les scientifiques ne s'expliquent pas une telle structure, si ce n'est qu'elle confère à l'animal une résistance dorsale inégalée. **H. R.**

SOURCE : STÉPHANIE SMITH, MUSÉUM FIELD D'HISTOIRE NATURELLE, CHICAGO, ÉTATS-UNIS.



LES EXPÉDITIONS
SCIENCES ET AVENIR

CROISIÈRE EN BIRMANIE

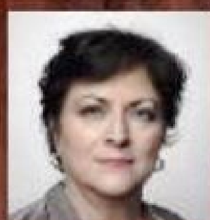
FESTIVAL DU PHAUNG DAW OO AU LAC INLE

14 JOURS / 11 NUITS
DU 14 AU 27 OCT. 2020
A BORD DU PANDAW II

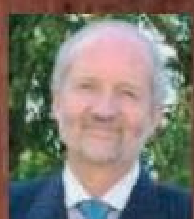


MYSTÉRIEUSE BIRMANIE

Mandalay, golfe du Bengale, temples de Bagan... il y a des noms qui font instantanément rêver. Sans même évoquer la vallée des rubis, célèbre titre de Joseph Kessel, aussi bien journaliste qu'aventurier qui raconta les richesses de Mogok, ville toute empreinte de légendes.
Le voyage proposé aujourd'hui au Myanmar par Sciences et Avenir invite à la découverte de ce pays mieux connu de beaucoup sous le nom de Birmanie, qui paraît toujours aussi mystérieux.
Parce qu'il est synonyme de pierres précieuses - aussi bien saphirs que rubis ! - de jade et autres pierres fines, il nous fallait, pour le décrypter, un spécialiste incontestable du domaine. Ce sera le cas, avec Didier Giard, membre de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer et Président de l'Association Française de Gemmologie, fin connaisseur de géopolitique, qui replacera pour nous l'importance du pays dans l'Asean (association des nations de l'Asie du sud-est) et sur les nouvelles routes de la Soie. Ce sont à la fois la découverte de sites somptueux et la compréhension du monde d'aujourd'hui qui vous sont proposées. Un merveilleux voyage en perspective.

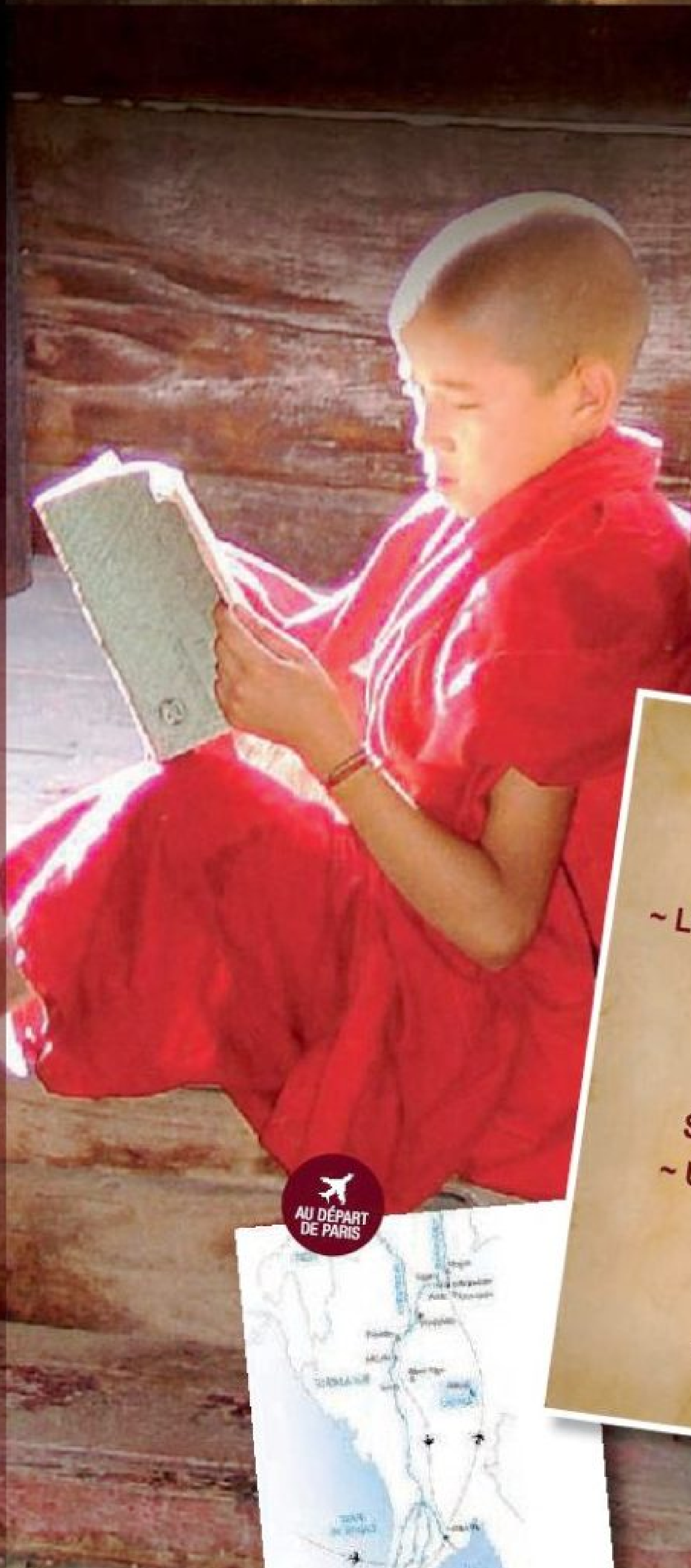


Dr Dominique LEGLU
Directrice de la rédaction de Sciences et Avenir



AVEC VOUS À BORD ! DIDIER GIARD Conférencier

Didier Giard est membre titulaire de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer où il occupe le siège de l'ancien ambassadeur André Lewin et est membre de la prestigieuse Société des Explorateurs Français crée en 1937 par Paul-Emile Victor.



LES POINTS FORTS

~ UN CONFÉRENCIER DE TRÈS HAUT NIVEAU SPÉCIALISTE DE LA BIRMANIE.
~ LES VISITES DES PLUS BEAUX SITES DE LA BIRMANIE.
~ UNE DES MEILLEURES PÉRIODES DE L'ANNÉE.
~ LE GRAND MOMENT DE VOTRE CROISIÈRE, LE FESTIVAL DES BATEAUX PAGODES SUR LE LAC INLE, C'EST L'UN DES PLUS BEAUX SPECTACLES AQUATIQUES D'ASIE DU SUD-EST.
~ UN PETIT PAQUEBOT CONVIVIAL DE 20 CABINES POUR 40 PRIVILÉGIÉS.
~ UN TOUT COMPRIS BLEU VOYAGES (excursions, boissons à table, etc...).
~ UN ACCOMPAGNEMENT FRANCOPHONE.



À PARTIR DE
3 700 €/PERS.
Au départ de Paris - En tout inclus

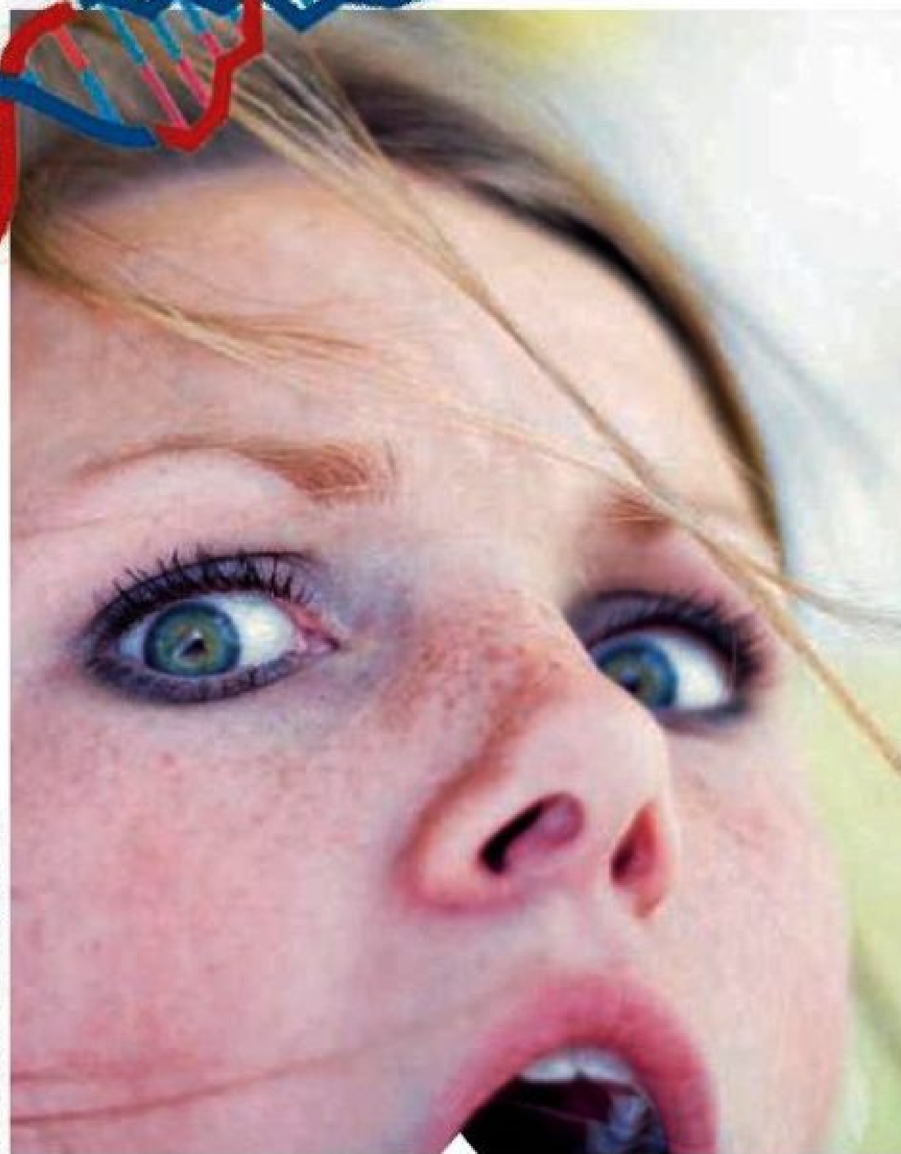
RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS :
BLEU VOYAGES
213 rue de Gerland - Bat 2 - 69007 LYON
TÉL. 04 72 76 75 66
www.expeditions-sciencesetavenir.fr

Bleu Voyages

Neige et Soleil Voyages SAS au capital de 396 800 • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766 • Code APE 7911 Z • Immatriculation Atout France 038110038 • Agence garantie par l'APST • 15 Avenue Carnot - 75017 Paris • Agence assurée pour sa responsabilité civile et professionnelle par le groupe MMA Entreprises n° de contrat 144569079.

Concept : www.pascale-m.com - Crédits photos : Wikimédia / Michael Gunther CC BY-SA 4.0 - Pixabay CC0





PLAINPICTURE - P. R. MARSHALL ET AL.

Les phobies seraient dues à l'incapacité du cerveau de réinitialiser l'état de la structure de l'ADN modifiée par la peur.

La peur retourne l'ADN du cerveau

Après un stress répété, les molécules qui portent l'information génétique changent de sens de rotation.

NEUROLOGIE Ressentir la peur modifie la forme de l'ADN dans les neurones, vient de découvrir l'équipe de Tim Bredy, de l'université du Queensland (Australie). Les molécules d'ADN (acide désoxyribonucléique) qui portent l'information génétique ont majoritairement une forme de double hélice qui tourne vers la droite (ADN-B). Mais il en existe dont l'hélice tourne à gauche (ADN-Z). Le rôle de ces variantes dans le cerveau étant inconnu, les scientifiques ont voulu les observer dans les neurones de souris confrontées à la peur. Et là surprise : après un stress répété, la proportion d'ADN-Z augmente ! Mieux, lorsqu'on supprime une enzyme (ADAR1) qui fait revenir l'ADN-Z à la forme ADN-B, les souris n'oublient plus leurs souvenirs de peur.
Selon Tim Bredy, le syndrome de stress post-traumatique ou les phobies relèveraient ainsi d'une *« incapacité à réinitialiser l'état de la structure de l'ADN »*, rendant la peur moins contrôlable. Cibler des zones spécifiques du cerveau pour promouvoir la « réinitialisation fonctionnelle » des structures d'ADN pourrait aider à combattre ces troubles. **E. S.**

IL A DIT

« On peut déjà raisonnablement envisager un scénario à moyen terme en Île-de-France où 15 à 25 % des consultations physiques pourraient basculer dans la téléconsultation »

Dany Nguyen-Luong, directeur du département Mobilités et Transports de l'agence d'urbanisme Institut Paris-Région, réagissant aux chiffres de l'Assurance maladie selon lesquels, pendant le confinement, les téléconsultations en médecine sont passées de 1 à 11 % de l'ensemble des consultations.



Les cellules nerveuses lésées peuvent se réparer et établir de nouvelles connexions.

T. DEERINCK, NATIONAL CENTER FOR MICROSCOPY AND IMAGING, UC SAN DIEGO

Blessés, les neurones adultes redeviennent des bébés

NEUROLOGIE Les neurones moteurs adultes se comportent comme des cellules embryonnaires lorsqu'ils sont blessés. Tel est le résultat encourageant obtenu à l'École de médecine de l'université de Californie de San Diego (États-Unis). L'expression du génome des neurones devient similaire à celle d'un stade embryonnaire. Ils peuvent ainsi se réparer et établir de nouvelles connexions. **E. S.**

Le cerveau traite la langue des signes comme l'oral

COGNITION Qu'une personne s'exprime par oral ou en langue des signes, son cerveau traite les mots de la même façon avant qu'ils ne soient prononcés : il émet une onde typique de 15 millisecondes selon une étude de l'université de l'État de San Diego (États-Unis). Il existe donc un mécanisme général de surveillance préarticulatoire de la langue, qu'elle soit parlée ou signée. **E. S.**

Pourquoi les hommes auraient moins vite froid que les femmes

PHYSIOLOGIE **C'est la testostérone qui rendrait les hommes plus résistants à la sensation de fraîcheur que les femmes. La principale hormone mâle réduirait celle-ci en se fixant sur les récepteurs nerveux TRPM 8. Cet effet transitoire a été confirmé par la plus grande sensibilité à la fraîcheur des souris ou des rats mâles après castration, et sa correction par l'injection de testostérone. P. K.**

SOURCE : DIMITRA GKIKA, UNIVERSITÉ DE LILLE, INSERM.



PLAINPICTURE

La testostérone, hormone mâle, réduirait la sensation de fraîcheur.

PUBLICITÉ

Fonctionnement du cerveau

Mémoriser, raisonner, anticiper, planifier, comprendre… les capacités du cerveau sont illimitées.

Au rythme du cerveau



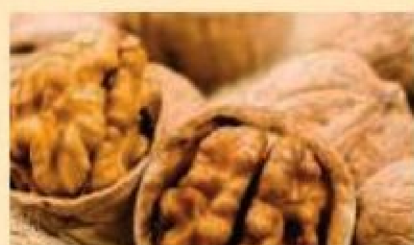
Le cerveau émet en permanence des ondes dont la fréquence dépend de son activité. Eveil, sommeil, phase intense de réflexion : pour chaque état cérébral, l'activité neuronale est caractérisée par un type d'onde.

Ondes alpha, bêta, gamma : leur rôle est complexe et leur émission par le cerveau dépend de nombreux facteurs, comme l'état psychologique ou encore l'alimentation.



Des études récentes ont par exemple montré le lien étonnant entre Thé vert et ondes alpha. Les feuilles de Thé vert contiennent naturellement une substance appelée L-théanine. Malgré son nom, elle n'a aucun lien avec la théine et ne provoque aucune excitation, bien au contraire. La L-théanine régule la production d'ondes alpha : en situation d'effort intellectuel prolongé, elle est capable de diminuer leur production par le cerveau, ce qui favorise la mémorisation et la concentration. A l'inverse, si le cerveau se trouve en phase d'endormissement, elle stimule leur émission, d'où un effet relaxant propice au sommeil.

Théorie des signatures



La Théorie des Signatures était une méthode d'observation dans l'Antiquité, selon laquelle l'aspect des plantes était une indication de leurs bienfaits pour le corps. La science moderne a depuis confirmé l'efficacité de certaines plantes sur la partie du corps à laquelle elles ressemblent. Ainsi débarrassée de sa coque, la Noix ressemble fortement à un cerveau. Elle est riche en Omegas et en antioxydants, et plusieurs études ont montré ses bienfaits sur la mémoire.

Indispensable irrigation

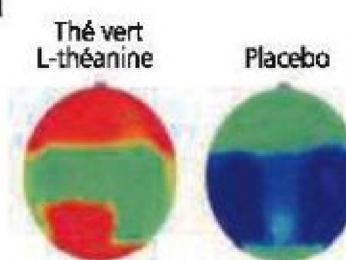


Le cerveau est incapable de constituer des réserves, et doit donc être alimenté en permanence en glucose. Celui-ci est apporté grâce à un vaste réseau de capillaires, de petits vaisseaux sanguins qui permettent d'irriguer efficacement l'ensemble du cerveau. Leurs fines parois laissent passer le glucose mais aussi l'oxygène indispensable au bon fonctionnement du cerveau. En effet, quelques minutes seulement sans oxygène y entraîne des lésions irréversibles. Là encore, l'alimentation et le mode de vie en général jouent un rôle primordial. La consommation d'aliments riches en antioxydants qui protègent les capillaires, et plus spécifiquement en polyphénols, influence directement le fonctionnement cérébral. Les recherches convergent notamment sur le Pin maritime, dont l'écorce renferme de grandes quantités de proanthocyanidines ou OPC, des polyphénols capables de stimuler la microcirculation sanguine dans les capillaires.

B comme bénéfiques

Le cerveau utilise aussi une multitude de vitamines et minéraux pour fonctionner. Un apport suffisant en vitamines B est particulièrement bénéfique pour maintenir des fonctions cognitives normales (mémoire, concentration, attention). La vitamine B5 par exemple est essentielle à la production de neurotransmetteurs, des substances chimiques qui permettent aux signaux électriques de passer d'un neurone à l'autre pour faire circuler l'information.

Le cerveau passé au scanner



L'activité cérébrale peut être observée grâce au scanner qui met en évidence les zones activées en fonction de l'état dans lequel se trouve le cerveau. La consommation de L-théanine (en rouge) active les zones de la mémoire et de la concentration. Sans L-théanine, ces zones restent inactives (en bleu). Les nombreux travaux de recherche effectués sur le fonctionnement du cerveau ont permis de mettre au point des solutions pour améliorer les fonctions cognitives et les performances intellectuelles. Le laboratoire de recherche végétale New Nordic a mis au point une formule complètement naturelle à base de plantes et vitamines. Baptisée **Cerveau Clair**, elle contient des extraits concentrés de Thé vert, de Noix, de Pin maritime et de Grenade, associés à des vitamines et de l'Iode pour optimiser les performances cérébrales. Ces actifs sont capables d'atteindre le cerveau en quelques heures et sont efficaces sur le long terme. Ils sont donc indiqués pour stimuler les capacités intellectuelles, la concentration et la mémoire, notamment en période de révisions ou d'examens, mais aussi pendant des programmes de plusieurs mois. Les actifs de **Cerveau Clair** atteignent rapidement le cerveau, pour une efficacité en moins d'une heure. Réservé aux adultes de plus de 15 ans.



Disponible en pharmacie et espace diététique

Questions ? Les experts New Nordic vous répondent au 01 85 42 34 47 (tarif local) ou sur www.vitalco.com

Cerveau Clair 60 cp code **ACL 295 18 63**

"Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour" www.mangerbouger.fr

L'IA détecte la progression du glaucome

OPHTALMOLOGIE Une intelligence artificielle pourrait détecter précocement le glaucome, la principale cause de cécité. Une équipe de l'Imperial College de Londres vient en effet de développer un algorithme associé à un test par fluorescence pour compter le nombre précis de cellules rétiniennes atteintes. Et ses résultats sont meilleurs que ceux de l'imagerie standard de rétine (ou OCT) puisque le diagnostic est posé 18 mois plus tôt. **S. R.-M.**

UCL/WESTERN EYE HOSPITAL

◄ **L'algorithme** compte le nombre exact de cellules rétiniennes malades (points brillants).



PHOTOS : AFP

C'est sur ces fruits et légumes non bio qu'ont été mesurées les plus fortes quantités de pesticides.

Les douze aliments les plus pollués

NUTRITION **Fraises, épinards et chou frisé. Voici le podium des aliments non bio contenant les plus fortes quantités de pesticides. Le palmarès annuel des « dirty dozen » établi par l'organisation américaine Environmental Working Group (EWG) comprend également : nectarines, pommes, raisins, pêches, cerises, poires, tomates, céleri et pommes de terre. Près de 90 % des échantillons analysés contiendraient des résidus d'au moins deux pesticides.** **S. R.-M.**

Non, les smartphones ne déforment pas le crâne

ANATOMIE Des radiologues français du CHU de Lille viennent d'invalider une hypothèse formulée en 2018 par le chiropracteur et chercheur australien, David Shahar : non, les smartphones ne provoquent pas l'apparition d'une protubérance à l'arrière du crâne. L'analyse de scanners du crâne de plus de 400 patients n'a pas permis de mettre en évidence l'apparition du relief osseux au-dessus de la nuque, en lien avec l'utilisation de smartphones. **I. L.**

Vers un vaccin contre le diabète de type 1

Des chercheurs suédois vont tester un vaccin contre six souches connues de virus parfois responsables de cette affection.

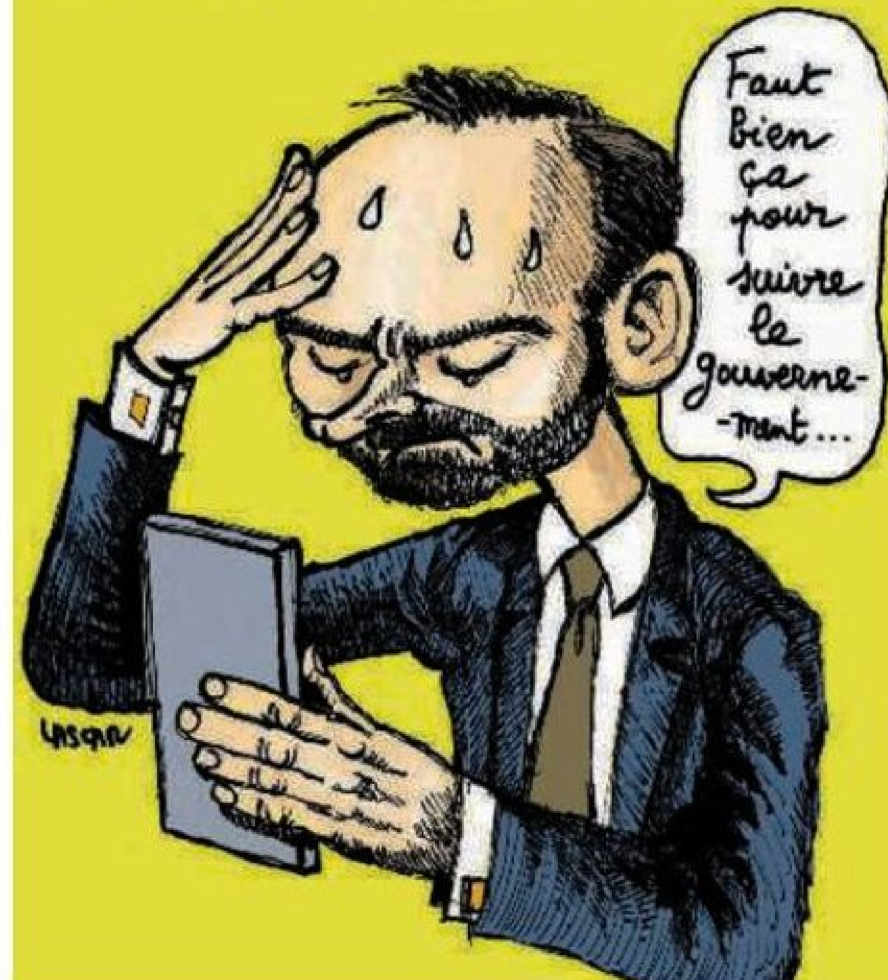
ENDOCRINOLOGIE Une équipe de l'institut Karolinska en Suède va tester un vaccin contre le diabète de type 1, qui se déclare généralement chez l'enfant ou l'adolescent. Le diabète n'a rien d'une maladie infectieuse puisqu'il est dû à un dérèglement du système immunitaire qui détruit les cellules pancréatiques régulant le taux de sucre dans l'organisme. Mais, dans certains cas, cette réaction auto-immune serait déclenchée par une infection virale. En particulier par des virus de la famille des Coxsackies B (CVB), très courants, et qui ne provoquent le plus souvent que des rhumes. Pour confirmer cette hypothèse, les chercheurs suédois ont développé un vaccin contre les six souches de CVB. Ils vont désormais le tester chez des enfants présentant un profil de risque génétique pour le diabète de type 1 afin de mesurer si le nombre de nouveaux malades diminue dans cette population. *« Ce serait fantastique si nous pouvions prévenir des cas que nous soupçonnons être dus aux Coxsackievirus, bien que leur fréquence soit difficile à estimer »*, conclut Malin Flodström-Tullberg, immunologue, qui dirige ces travaux. **H. J.**



PHANIE

Cette maladie auto-immune se déclare généralement chez l'enfant ou l'adolescent.

L'œil de Lascar



L'APPLICATION POUR MOBILES STOPCOVID, conçue pour tracer les contacts avec des personnes diagnostiquées positives au Covid-19, devrait être entrée en fonction le 2 juin selon le gouvernement français. Le Premier ministre a maintenu sa confiance dans un projet qui suscite moult critiques. **O. L.**

QUANDTHE
VOUS REFERMEZ
UN MAGAZINE
UNE NOUVELLE VIE
S'OUVRE À LUI.

EN TRIANT VOS JOURNAUX,
MAGAZINES, CARNETS, ENVELOPPES,
PROSPECTUS ET TOUS VOS AUTRES
PAPIERS, VOUS AGISSEZ POUR UN MONDE
PLUS DURABLE. DONNONS ENSEMBLE
UNE NOUVELLE VIE À NOS PRODUITS.
CONSIGNESDETRI.FR

CITEO
Le nouveau nom d'Eco-Emballages et Ecofolio





Un robot inspiré du guépard

La machine souple a multiplié par 3 sa vitesse maximale.





Le prototype reproduit le comportement de l'épine dorsale du plus rapide des félins à la course.

NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY

BIONIQUE En étudiant les propriétés biomécaniques du guépard, des ingénieurs de l'université de Caroline du Nord (États-Unis) ont triplé la vitesse maximale jamais atteinte par un robot mou. Soit 2,7 fois la taille du robot par seconde, contre 0,8 pour le précédent record. « *Les guépards sont les créatures terrestres les plus rapides, et ils tirent leur vitesse et leur puissance de la flexion de leur colonne vertébrale* », explique Jie Yin, professeur adjoint d'ingénierie mécanique et aérospatiale, à l'origine du projet. L'équipe s'en est inspirée pour développer « *un type de robot souple qui possède une colonne vertébrale "bistable", ce qui signifie que le robot a deux états stables* » : flexion et extension. Les chercheurs parviennent à basculer rapidement d'un état à l'autre en pompant de l'air dans les canaux qui tapissent le robot en silicone de 7 centimètres de long pour un poids de 45 grammes. Résultat : leur guépard en silicone court à 18,9 cm par seconde, soit 0,7 km/h. **H. J.**

À VOIR SUR LE NET

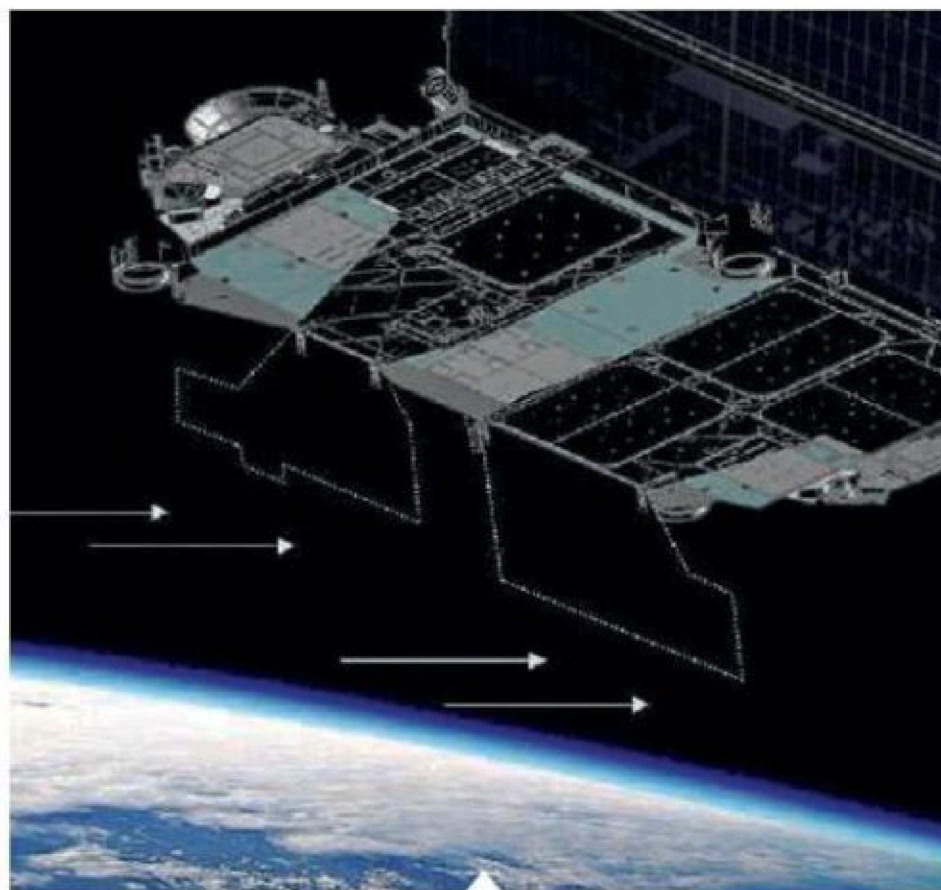
OPENAI

Le jukebox, version intelligence artificielle

CRÉATION MUSICALE De la pop au heavy metal en passant par des imitations de Frank Sinatra, un réseau de neurones est capable de créer sans limite des chansons inspirées du répertoire « humain ». Jukebox il a été développé par des chercheurs d'OpenAI, un laboratoire américain dédié aux IA « amicales ». Les chercheurs l'ont d'abord entraîné sur 1,2 million de chansons associées à leurs paroles et métadonnées. **A. D. sciav.fr/880jukebox**

Des pare-soleil pour rendre les satellites moins éblouissants

TECHNOLOGIE Après avoir tenté — sans franc succès — de recouvrir un de ses satellites de peinture non réfléchissante pour le rendre moins visible dans le ciel, la société américaine Starlink propose une nouvelle solution : équiper ses prochains engins — sur les 12000 prévus, 420 ont été lancés, — de « VisorSat », sortes de pare-soleil en mousse synthétique. Ceux-ci laisseraient passer les ondes radio tout en bloquant les rayons solaires pour réduire les traînées lumineuses. **S. R.**



SPACEX

Les VisorSat, panneaux en mousse synthétique, laisseraient passer les ondes radio tout en bloquant les rayons solaires.

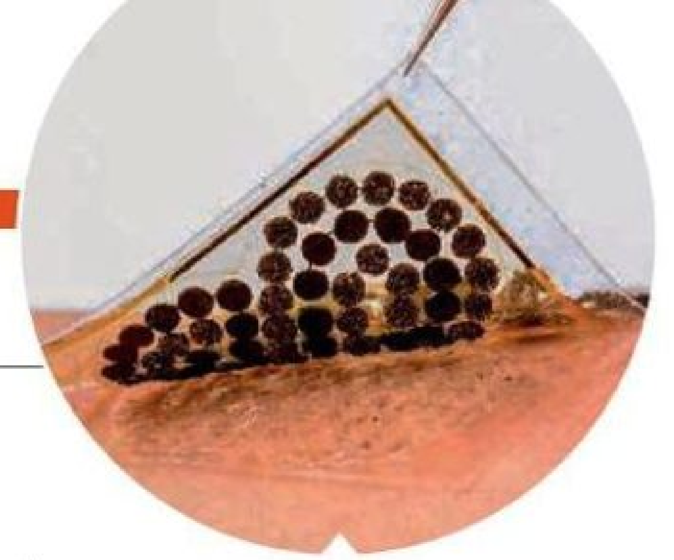
C'EST DIT

« Selon la législation actuelle, seules les personnes physiques peuvent être désignées comme inventrices pour un dépôt de brevet »

Le bureau américain des brevets et des marques (USPTO), dans une décision du 22 avril refusant d'attribuer à Dabus, une intelligence artificielle, les inventions d'un contenant alimentaire manipulable par robots et d'une alarme visuelle.

Demi-succès pour le lanceur lourd chinois

ESPACE Le nouveau lanceur lourd chinois Longue-Marche 5B s'est envolé avec succès le 5 mai. Il emportait notamment la nouvelle capsule Shenzhou destinée aux missions habitées vers la Lune, revenue sans encombre sur Terre le 8 mai. Mais l'étage central de la fusée a fait un retour incontrôlé dans l'atmosphère le 11 mai, menaçant de s'écraser sur le sol américain. Il s'est finalement abîmé dans l'Atlantique, mais des débris sont tombés en Côte d'Ivoire. **S. R.**



La biopile (en haut) exploite le lactate rejeté par la transpiration.

CALTECH

Le drone militaire autonome selon Boeing

DÉFENSE L'avionneur américain Boeing a conçu un appareil dirigé par une intelligence artificielle — et non à distance par un pilote — pour des opérations de reconnaissance et de surveillance. Capable de se mouvoir seul ou en escadrille, il communique et se coordonne avec des avions traditionnels. Appelé Loyal Wingman, l'appareil a été conçu pour la Royal Australian Air Force à laquelle un prototype a été présenté début mai. **A. D.**



BOEING

Loyal Wingman est piloté par une intelligence artificielle et non à distance par un humain, comme les drones actuels.

Une peau électronique alimentée par la sueur

BIOLOGIE **Exploiter la sueur humaine pour produire de l'énergie alimentant des capteurs biologiques surveillant notre santé : voilà l'idée développée par des chercheurs du Caltech (États-Unis). Une biopile à combustible exploite le lactate, sous-produit de l'activité des muscles, pour produire de l'hydrogène qui, en réagissant avec l'oxygène de l'air, génère de l'électricité. O. H.**

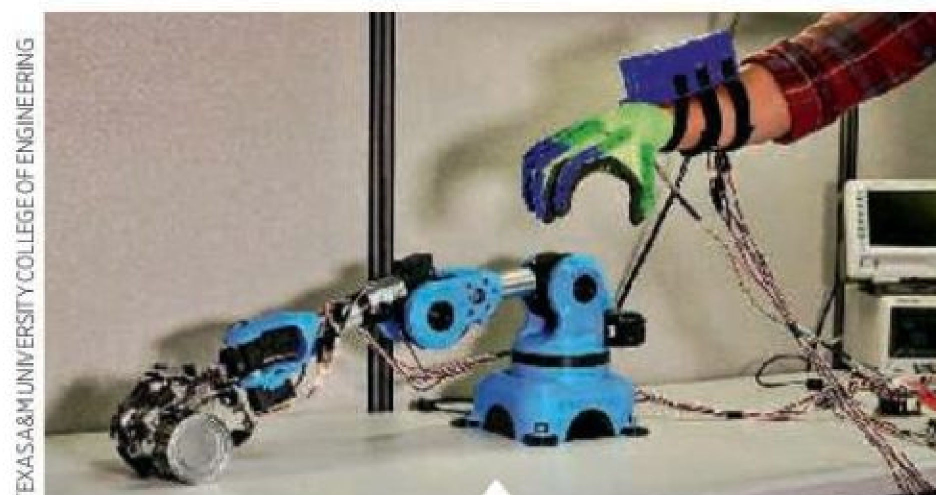
57 Le nombre de jeux vidéo maîtrisés par une IA

ALGORITHMES **Agent57, une intelligence artificielle développée par DeepMind, filiale de Google a réussi à terminer la collection de jeux vidéo Atari57, et ce avec de meilleurs scores que les joueurs humains. Cette suite, composée de 57 jeux pour la console Atari 2600 commercialisée en 1977, est connue pour évaluer les performances des algorithmes d'apprentissage par renforcement profond. O. H.**

Une impulsion électrique guide les chirurgiens

MÉDECINE Les chirurgiens qui opèrent en pilotant un robot vont disposer d'un retour d'informations plus précis grâce à un dispositif basé sur des impulsions électriques. Le signal est envoyé dans les doigts du praticien avec une fréquence croissante à mesure que l'instrument tenu par la machine se rapproche des tissus du patient. Ce système complétera les caméras fixées sur les bras des robots. **A. D.**

SOURCE : ZIQI ZHAO, UNIVERSITÉ A & M. DU TEXAS, ÉTATS-UNIS.



TEXAS A&M UNIVERSITY COLLEGE OF ENGINEERING

Le praticien reçoit un signal croissant à mesure que le bras artificiel se rapproche des tissus du patient.



C.RIZZA

QUESTIONS À

Caroline Rizza

Maîtresse de conférences en sciences de l'information à l'école d'ingénieurs Télécom Paris

« Avec le Covid-19, Wikipédia s'est attaqué à la désinformation »

La chercheuse étudie la création de pages Wikipédia relatives aux crises.

La vocation encyclopédique de Wikipédia se prête-t-elle au traitement à chaud des sujets de crise comme la pandémie de Covid-19 ?

Traiter d'un événement en cours est un peu anormal pour une encyclopédie, et cela fait partie des débats internes, mais le fonctionnement de Wikipédia rend cela possible.

La pandémie actuelle obéit-elle aux mêmes dynamiques que les événements touchant à la sécurité civile (attentats de 2015 à Paris et à Saint-Denis, ouragan Irma en 2017) que vous avez étudiés ?

Qu'il soit anticipé — un ouragan — ou soudain — attentat, accident industriel —, un événement provoque un pic rapide de contributions avec un retour à la normale dans les jours qui suivent. Avec la crise sanitaire actuelle, il y a eu une montée des contributions puis stagnation en plateau, sans qu'on puisse prévoir le retour à la normale.

Les incertitudes scientifiques ont-elles entraîné des pratiques nouvelles ?

Pour la première fois lors d'une crise, la communauté francophone de Wikipédia a créé une page sur la désinformation. Et sur les pages relatives à la maladie et à la pandémie, un nouveau bandeau signale qu'elles ne donnent pas de conseils médicaux.

Propos recueillis par A. D.

TROU NOIR SUPERMASSIF Objet céleste d'au moins un million de fois la masse du Soleil, qui se trouve en général au centre des galaxies.

TROU NOIR STELLAIRE Objet céleste très compact de quelques masses solaires qui représente le stade final de l'évolution des étoiles massives.

SUPERNOVA Explosion d'une étoile massive en fin de vie au cours de laquelle est éjectée l'enveloppe superficielle de l'astre.

Des trous noirs en formation accélérée

Comment ces ogres supermassifs ont-ils grossi aussi vite ? En avalant des étoiles compactes migrant à travers le disque galactique, rapporte une hypothèse séduisante.

Par Azar Khalatbari

Ils sont les objets les plus étonnants du cosmos. Des ogres dont la masse peut atteindre plusieurs dizaines de milliards de fois celle du Soleil, nichés au cœur des galaxies et avalant irrémédiablement gaz, poussières et étoiles qui passent à leur portée. Mais comment ont-ils pu naître et grossir aussi vite ? Les travaux d'une équipe italienne qui vient de proposer un scénario publié dans *The Astrophysical Journal* tombent à pic : des milliers de grosses étoiles primitives auraient explosé, abandonnant sur place leurs « cadavres » très compacts. Ces derniers auraient migré vers le centre de leur galaxie respective, formant une masse suffisante pour attirer la matière jusqu'à la constitution de l'ogre supermassif. De quoi faire gonfler le monstre en deux coups de cuiller à pot ! Une hypothèse séduisante.

Pour comprendre, il faut revenir au défi lancé aux scientifiques par ces astres fascinants. Ainsi de J0100+2802, l'un des trous noirs les plus massifs de l'Univers avec 12 milliards de fois la masse du Soleil assemblées en… à peine un milliard d'années. Comment un tel exploit est-il possible ? « *La question est débattue entre les théoriciens et ceux qui travaillent sur des simulations numériques*, précise David Elbaz, directeur de recherche au CEA (Saclay, Essonne). *Les observations sont encore insuffisantes et partielles pour répondre.* » De leur côté, les théoriciens estiment que c'est la première étape de la formation qui est la plus difficile à comprendre : comment obtient-on un noyau central de quelques milliers à un million de masses solaires en un temps record ? La suite étant, selon eux, plus simple à expliquer : sous l'action de la force gravitationnelle, le trou noir accumule suffisamment de masse pour attirer toujours plus de matière, jusqu'à former un astre supermassif.

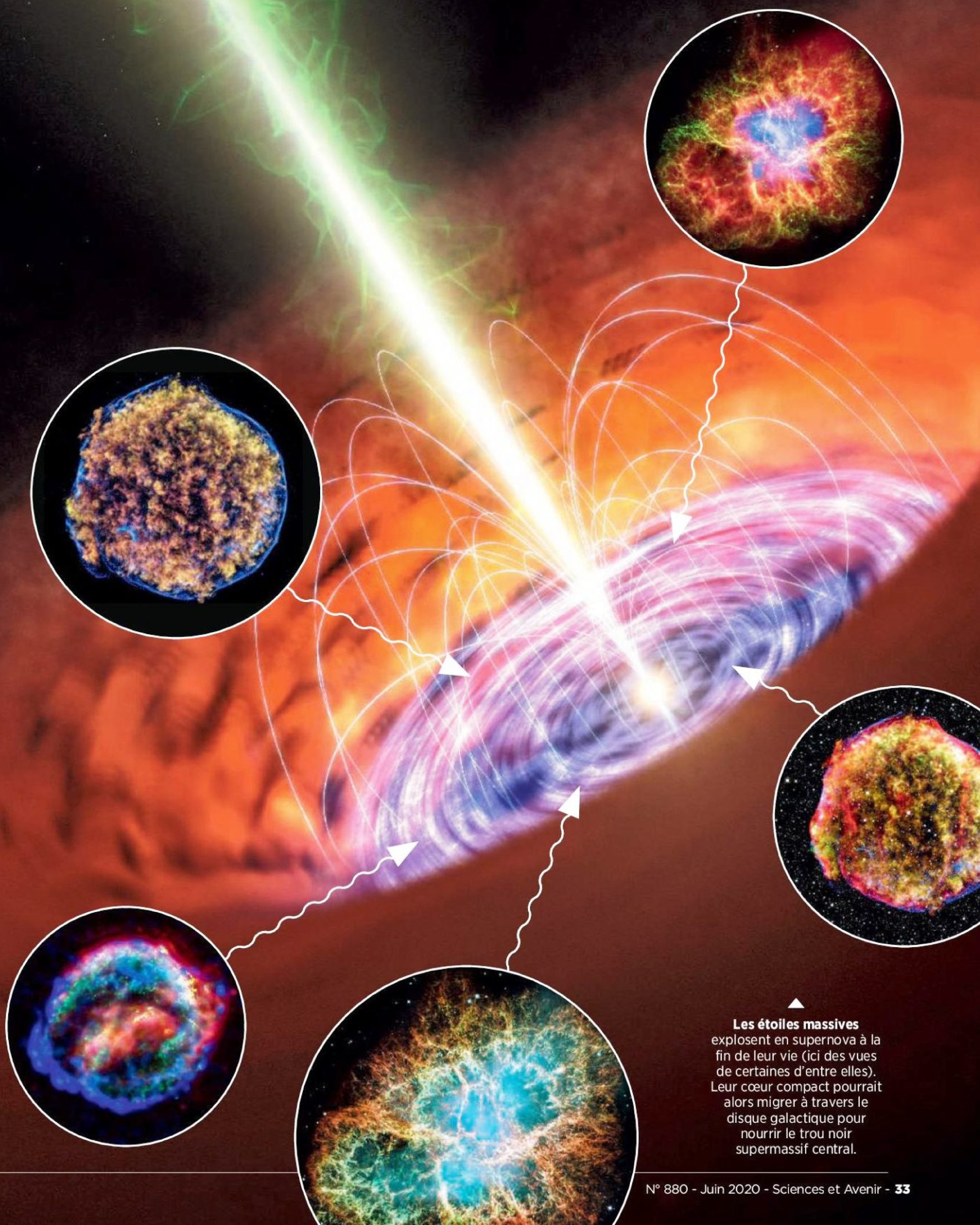
C'est dans ce contexte que le scénario concocté par l'astrophysicien Andrea Lapi et ses collègues de l'École internationale supérieure d'études avancées de ▶

NASA, ESO, CHANDRA

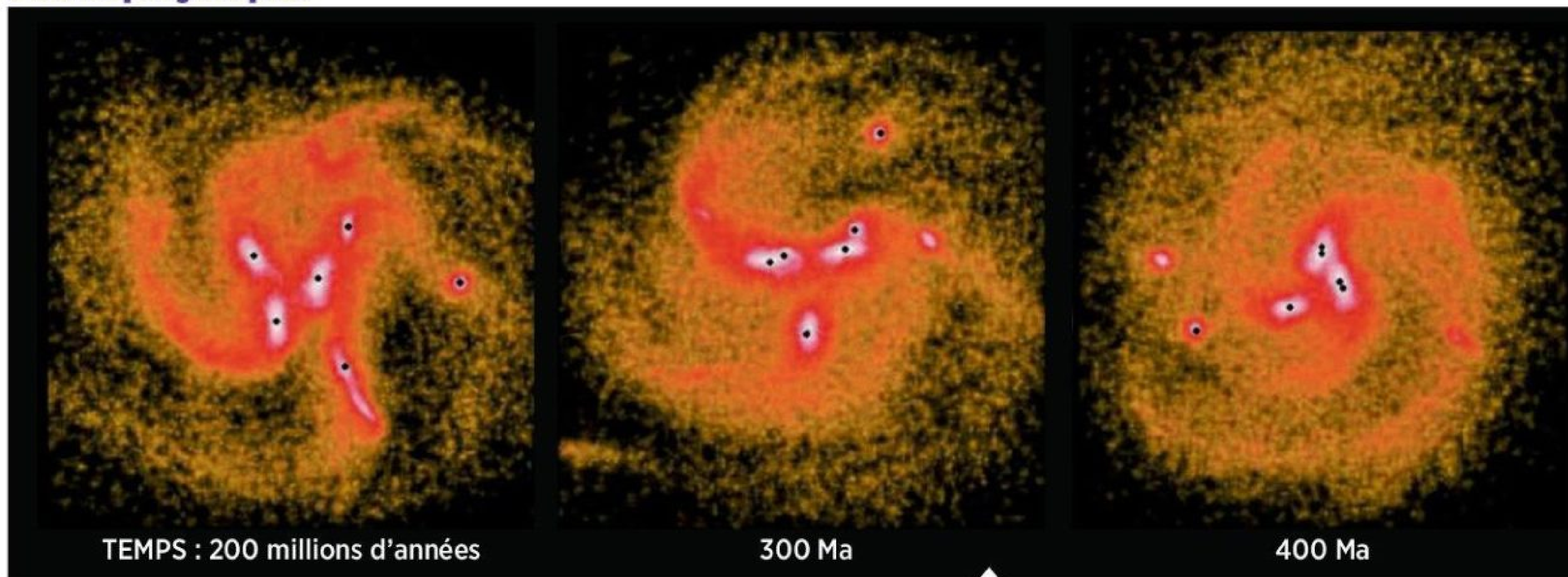
THÉORIE

L'accrétion, une autre piste sérieuse

Le scénario traditionnel pour expliquer la formation des trous noirs supermassifs est appelé « accrétion super-Eddington » (du nom de l'astronome britannique Arthur Eddington), même s'il comporte toujours des zones d'ombre. Au sein du disque brillant qui entoure les trous noirs, gaz et poussières se trouvent tiraillés, échauffés et, de fait, émettent un rayonnement. Chaque grain y est soumis à deux phénomènes antagonistes : la gravité de l'astre qui l'attire vers le centre, et la pression exercée par les radiations des autres grains qui l'empêche de le rejoindre. Cette compétition détermine, selon la masse du trou noir, l'étendue du disque de matière qui brille. C'est la limite d'Eddington, formulée en 1921. Mais les travaux de ces dernières décennies présentent une subtilité qui aboutit à faire grossir le trou noir… bien plus que ce que supposaient les modèles classiques. Les grains rayonnant dans toutes les directions, une partie de leur énergie est perdue. Résultat : moins retenu, chaque grain peut plus facilement rejoindre le monstre galactique et le faire ainsi grossir.



Les étoiles massives explosent en supernova à la fin de leur vie (ici des vues de certaines d'entre elles). Leur cœur compact pourrait alors migrer à travers le disque galactique pour nourrir le trou noir supermassif central.



Si des simulations numériques confirment que des grumeaux de matière peuvent migrer à travers le disque galactique, cela prendrait au moins un milliard d'années, et non 10 millions comme l'estiment les chercheurs italiens.

Trieste (Italie) tombe à pic : il propose une solution qui parvient à accumuler au centre d'une galaxie l'équivalent d'un million de masses solaires en seulement... 10 millions d'années ! Ce modèle « super-efficace » est fondé sur quelques considérations : tout d'abord, le fait que les étoiles formées autrefois étaient bien plus massives que celles d'aujourd'hui. Elles pouvaient cumuler jusqu'à plusieurs centaines de fois la masse du Soleil. Or, plus elles sont massives, moins elles vivent longtemps. Une étoile de 10 masses solaires brûle ainsi ses réserves en 30 millions d'années quand le Soleil mettra 9 milliards d'années pour le faire. Et ces étoiles massives finissent leur courte vie par une explosion, éjectant leur enveloppe superficielle dans l'espace, offrant aux observateurs terrestres une luminosité démultipliée. Les astronomes d'antan pensaient ainsi surprendre la naissance d'une nouvelle étoile, d'où le nom de « supernova » donné à ces astres pourtant à l'agonie. Le dernier souffle rendu, seul persiste le cœur dense de l'astre : une étoile à neutrons. Celui-ci s'effondre sur lui-même, devient plus dense encore et se transforme en trou noir stellaire, d'à peine quelques masses solaires.

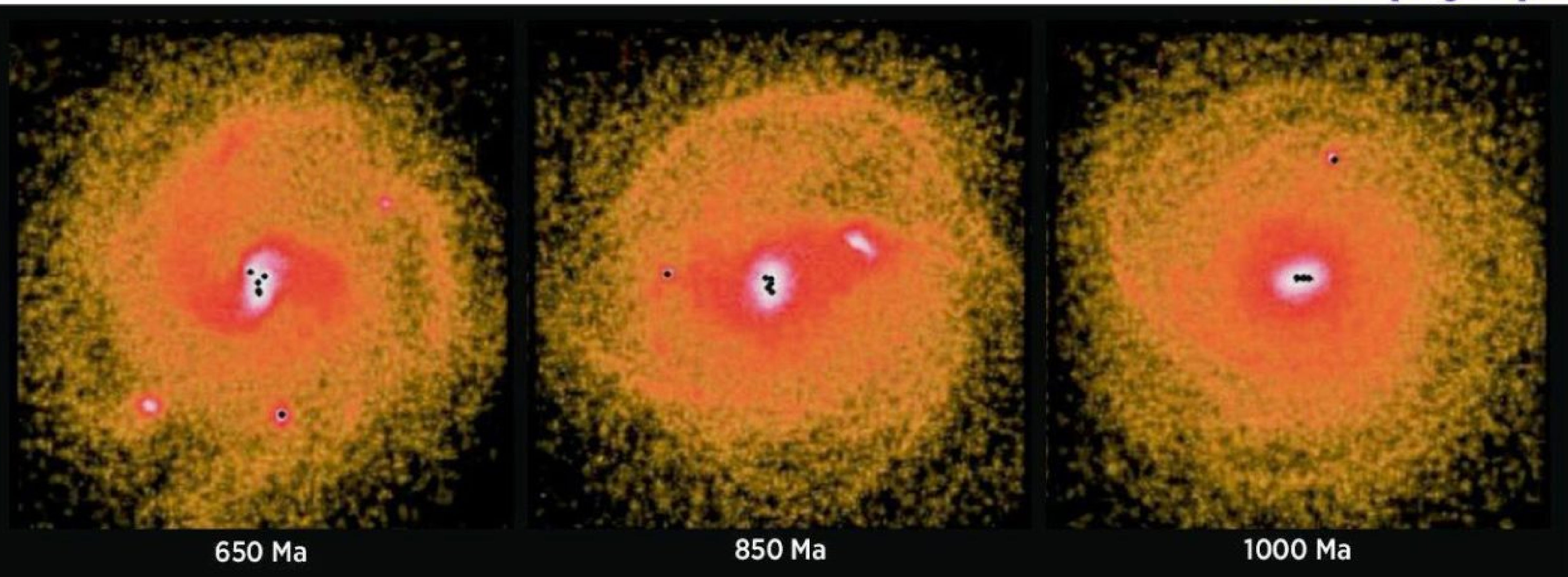
C'est à ce moment du processus que les astrophysiciens italiens supposent que ces résidus — qu'il s'agisse d'étoiles à neutrons ou de trous noirs — migrent à travers le disque de leur galaxie en direction du centre. *« L'étude suppose que tout en migrant, ces milliers de trous noirs partis de la périphérie grossissent et s'agglomèrent en rejoignant le centre pour former le noyau central indispensable pour démarrer le "grossissement"*, précise Frédéric Bournaud, astrophysicien au CEA. *C'est le point fort de cette étude, car rares sont les travaux qui expliquent cet amorçage. »* Ce phénomène de migration à travers le gaz du disque galactique pour en rejoindre le centre était déjà connu des planétologues qui y recourent pour expliquer l'emplacement des grosses planètes gazeuses au sein du système solaire. À l'origine de cette migration, un phénomène : la « friction dynamique ». Rappelons que tous les astres étant des toupies, certaines étoiles à neutrons tournent des milliers de fois sur elles-mêmes en une seconde, là où la Terre met vingt-quatre heures à le faire. Or, selon les caractéristiques du milieu dans lequel l'astre baigne, il s'effectue un échange d'énergie avec le gaz environnant. Si ce dernier est suffisamment dense, il en résulte un frottement qui le ralentit et le fait migrer vers les régions centrales. Selon l'équipe italienne, c'est bien ce phénomène de la « migration par friction dynamique » qui expliquerait la formation des trous noirs supermassifs en très peu de temps... *« à condition que le gaz soit suffisamment dense »*, a-t-elle cependant pris la précaution de souligner.

Une migration rapide réfutée par les simulations

Car là est toute la question ! *« En réalité, nous savons peu de chose de ce gaz*, souligne David Elbaz. *Nous ne disposons que d'observations effectuées ces dernières années grâce au radiotélescope Alma de l'Observatoire européen austral (ESO), au Chili. Elles indiquent que les galaxies formées il y a 10 milliards d'années sont très compactes avec de grandes concentrations en gaz et poussières. Mais rien ne laisse supposer que celles qui se sont formées au cours de la prime enfance de l'Univers le soient aussi. »* Et ces galaxies compactes le sont-elles suffisamment pour permettre — par friction — une migration rapide des astres compacts vers le trou noir central ? Frédéric Bournaud et ses


DIDIER GOUPY/SIGNATURES

« Nous n'avons pas assez d'observations pour comprendre comment grossissent les trous noirs au centre des galaxies »
David Elbaz, directeur de recherche au CEA, à Saclay (Essonne)



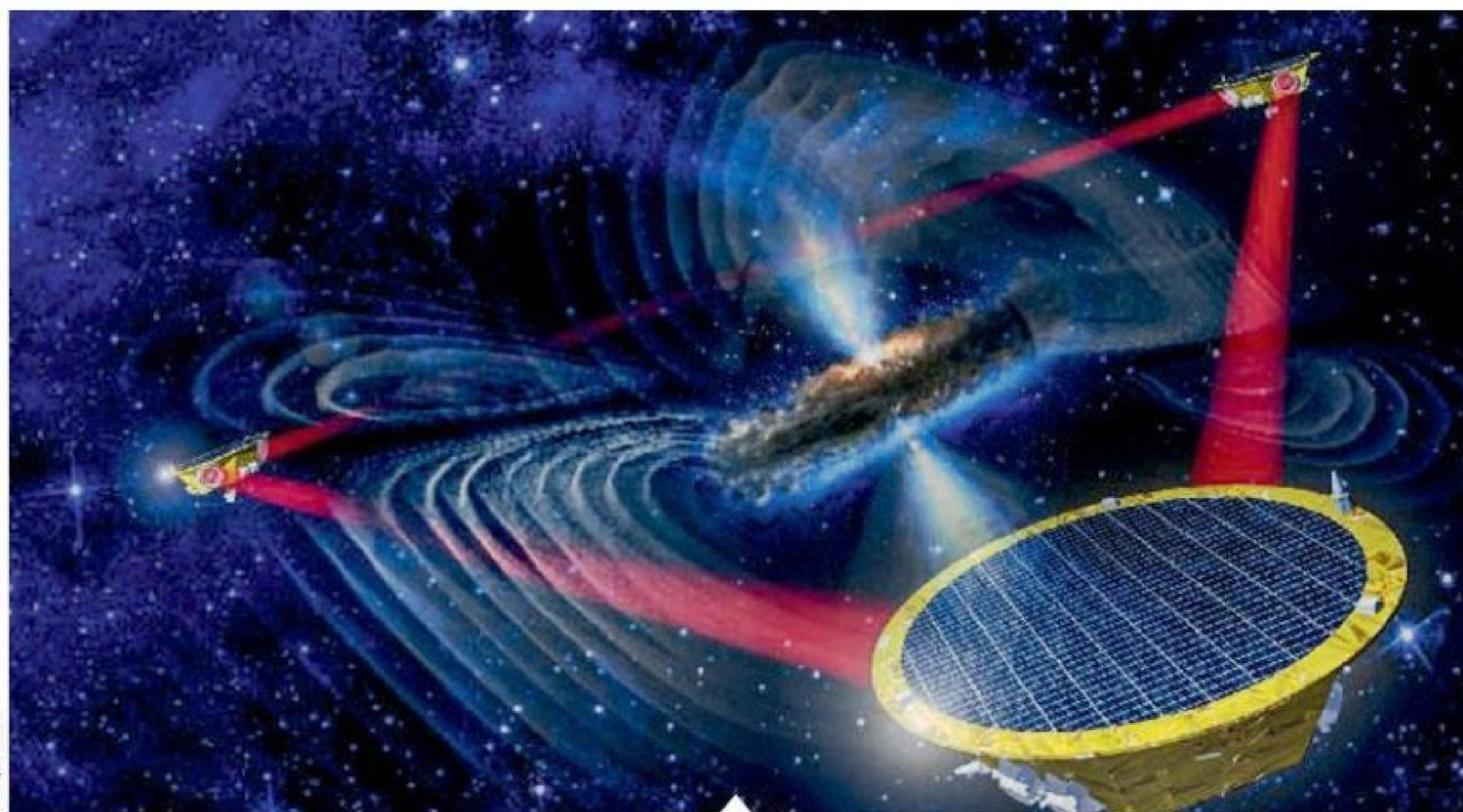
collaborateurs ont précisément utilisé ces données pour tester l'hypothèse de la migration, grâce à des simulations numériques. *« Nous avons regardé comment des grumeaux pouvaient se déplacer à travers une galaxie*, précise l'astrophysicien. *Or nos calculs montrent qu'il faut au moins un milliard d'années pour qu'un grumeau d'un milliard de masses solaires migre vers le centre d'une galaxie. »* Résultat : *« D'après nos simulations, le temps de migration serait 10 millions de fois plus long que ce que prédit l'étude italienne ! »*, renchérit David Elbaz. Romain Teyssier, astrophysicien à l'université de Zurich (Suisse), soulève un autre problème : *« Pour que cette friction dynamique opère, il faudrait que le gaz qui compose la galaxie ne soit pas turbulent »*, car les turbulences auraient tendance à dévier les astres compacts dans leur cheminement vers le centre. *« Or, plus les galaxies se sont formées tôt dans l'histoire de l'Univers, plus elles se trouvent dans un environnement riche en gaz et ce dernier, attiré par la masse de la galaxie, finit par chuter sur le disque galactique provoquant justement beaucoup de turbulences »*, poursuit le chercheur.

Pour l'heure, le scénario de migration en un temps record pour expliquer la formation des trous noirs supermassifs se heurte donc à de nombreuses inconnues... L'issue pourrait venir des futures observations qui révéleraient l'état du disque des galaxies lointaines. Pourraient-elles un jour valider ce scénario? Dans son élan, l'équipe de Trieste en a déjà prédit quelques-unes : l'interféromètre spatial LISA, fleuron des missions de l'Agence spatiale européenne des prochaines décennies, pourrait détecter des ondes gravitationnelles émises par le noyau du trou noir supermassif en formation qu'auraient percuté étoiles à neutrons et trous noirs parvenus au centre de la Galaxie *(lire l'encadré ci-contre)*. Mais pour cela il faudra être très patient : le lancement n'est prévu qu'en 2032. ■

DÉTECTION

LISA va observer la collision des trous noirs

L'hypothèse que des astres compacts migrent vers le trou noir central pour le faire grossir rapidement pourrait trouver une confirmation grâce à la constellation spatiale LISA (Laser Interferometer Space Antenna), et ce par la détection de basses fréquences se propageant sous forme d'ondes gravitationnelles, émises lors de la collision. L'instrument mis au point dans le cadre du programme Cosmic Vision de l'Agence spatiale européenne (ESA), d'un coût d'un milliard d'euros, avec une participation de la Nasa, à hauteur de 20 %, a la sensibilité voulue. Lancée en 2032, LISA sera composée d'une constellation de trois satellites formant un triangle équilatéral de 2,5 millions de kilomètres de côté. Entre eux, circuleront des faisceaux laser permettant d'effectuer de l'interférométrie. Ces basses fréquences échappent actuellement aux observatoires terrestres.



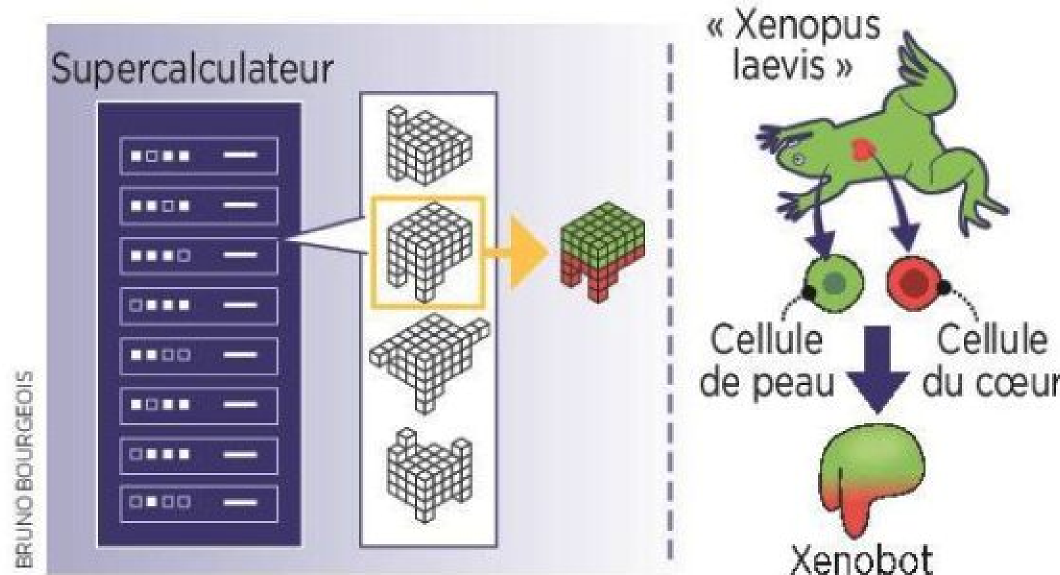
Le laser interféromètre spatial LISA, constellation de trois satellites formant un triangle équilatéral de 2,5 millions de kilomètres, traque les ondes gravitationnelles. Il sera lancé en 2032.

Voici la première machine vivante créée par un algorithme

Xenobot est un robot mi-artificiel mi-naturel réalisé à partir de cellules vivantes de grenouille sélectionnées par un logiciel s'inspirant des lois de l'évolution.

EST-CE UN ROBOT ? Non, il est fait de cellules de grenouille. Est-il vivant ? Non, il ne se reproduit pas. Un algorithme, alors ? Perdu, c'est une entité physique... En fait, il est un peu tout cela à la fois ! Difficile de classer l'énergumène fabriqué par l'équipe de Joshua Bongard, du laboratoire Morphology, Evolution and Cognition de l'université du Vermont (États-Unis) (1). Pour qualifier cette réalisation financée par la Darpa (l'agence du ministère américain de la Défense chargée des nouvelles technologies), il faut passer par des oxymores tels une « *machine vivante* » ou « *un organisme mi-vivant mi-artificiel* », comme le souligne Samuel Bottani, du laboratoire Matière et systèmes complexes (CNRS) de l'université de Paris-Diderot. Ou encore un « Xenobot », tel que l'appellent ses créateurs. Un mot-valise formé à partir du nom de l'amphibien, le xénope lisse (*Xenopus laevis*) dont des cellules ont été prélevées, et le robot (« *bot* »).

Voici donc Xenobot, gros comme une tête d'épingle et appartenant à une toute nouvelle entité ! Il se déplace sur commande au cours de ses quelques semaines de vie et meurt en laissant sur place un mini-monticule de cellules mortes, parfaitement biodégradables. Autant de commodités qui justifient l'utilisation de cellules vivantes. Et son existence ne se limite pas à une lubie d'ingénieur puisqu'il serait en capacité d'accomplir des tâches bien spécifiques selon ses concepteurs : délivrer un médicament au sein d'un tissu, dépolluer un site en recueillant des particules radioactives ou des microplastiques...



L'algorithme évolutionniste permet de sélectionner une seule configuration adaptée à une fonction, ici la motricité. Elle est réalisée grâce à des cellules issues de divers organes.

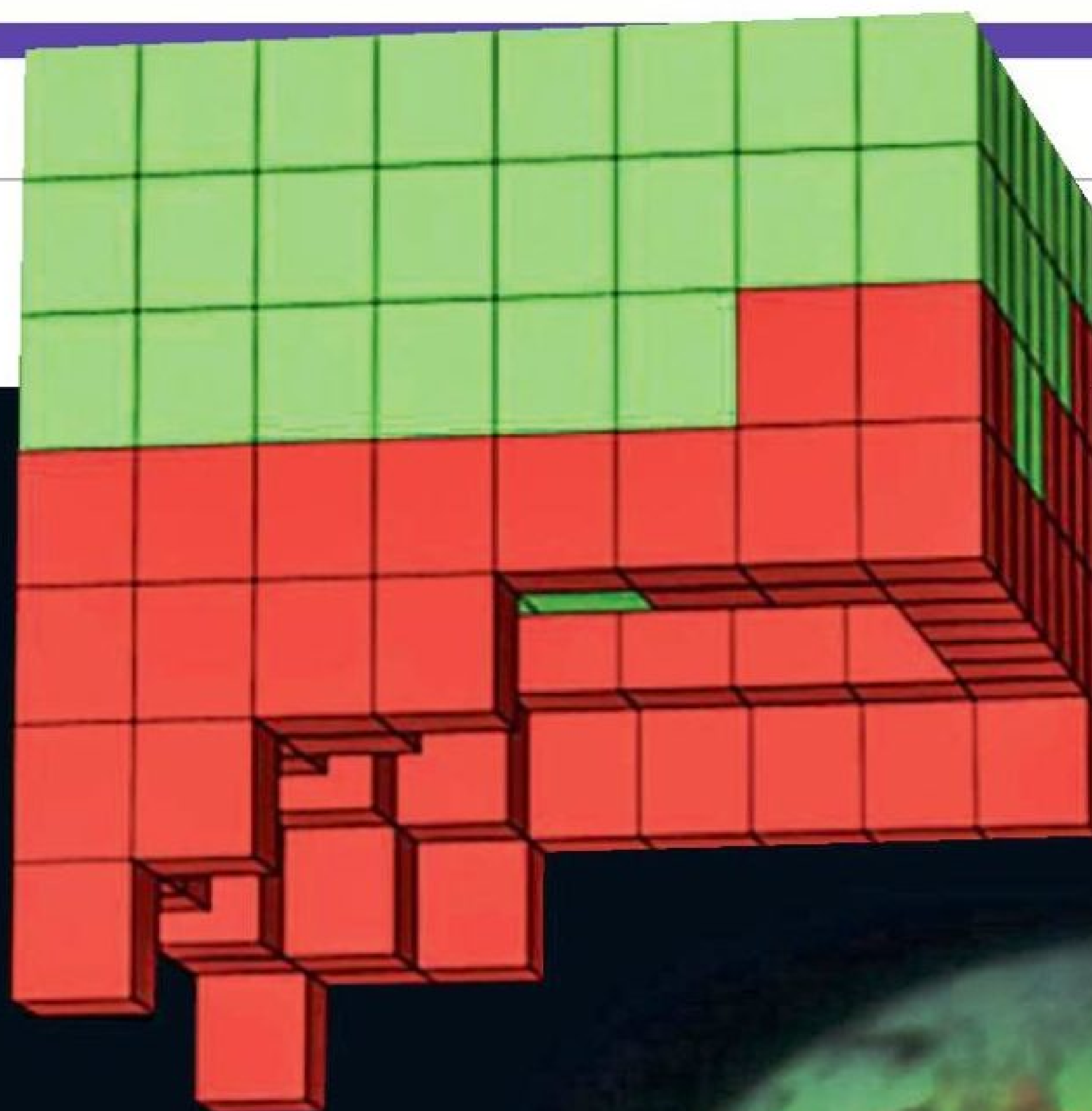
C'est un algorithme « évolutionniste » qui est à l'origine de Xenobot, s'inspirant de la vie et de ses lois de fonctionnement, à savoir l'évolution darwinienne.

« *Depuis deux décennies déjà, en matière de conception de robots, la théorie de l'évolution inspire un domaine très actif appelé la robotique évolutionniste* », explique Stéphane Doncieux, de l'Institut des systèmes intelligents et robotiques (Isir), à Paris. Cette approche permet de concevoir un robot capable de plusieurs fonctions — comme motricité et transport — en exploitant au mieux sa morphologie. Pour ce faire, l'algorithme évolutionniste propose différentes configurations pour la conception de la machine, les mettant en compétition dans un environnement prédéterminé. De ce jeu sort un ensemble de configurations « gagnantes ». « *Comme avec les lois darwiniennes qui interviennent dans la sélection naturelle, des configurations se révèlent les plus appropriées pour accomplir les tâches visées dans un environnement donné,* précise Stéphane Doncieux. *Elles déterminent les plans des "meilleurs" robots potentiels. Ceux-ci restaient jusqu'alors des simulations numériques sans vis ni boulons ni bras articulés fabri-*



« Le stade de la réalisation concrète à base de cellules vivantes est désormais franchi »

Stéphane Doncieux, chercheur à l'Institut des systèmes intelligents et robotiques (Isir), à Paris

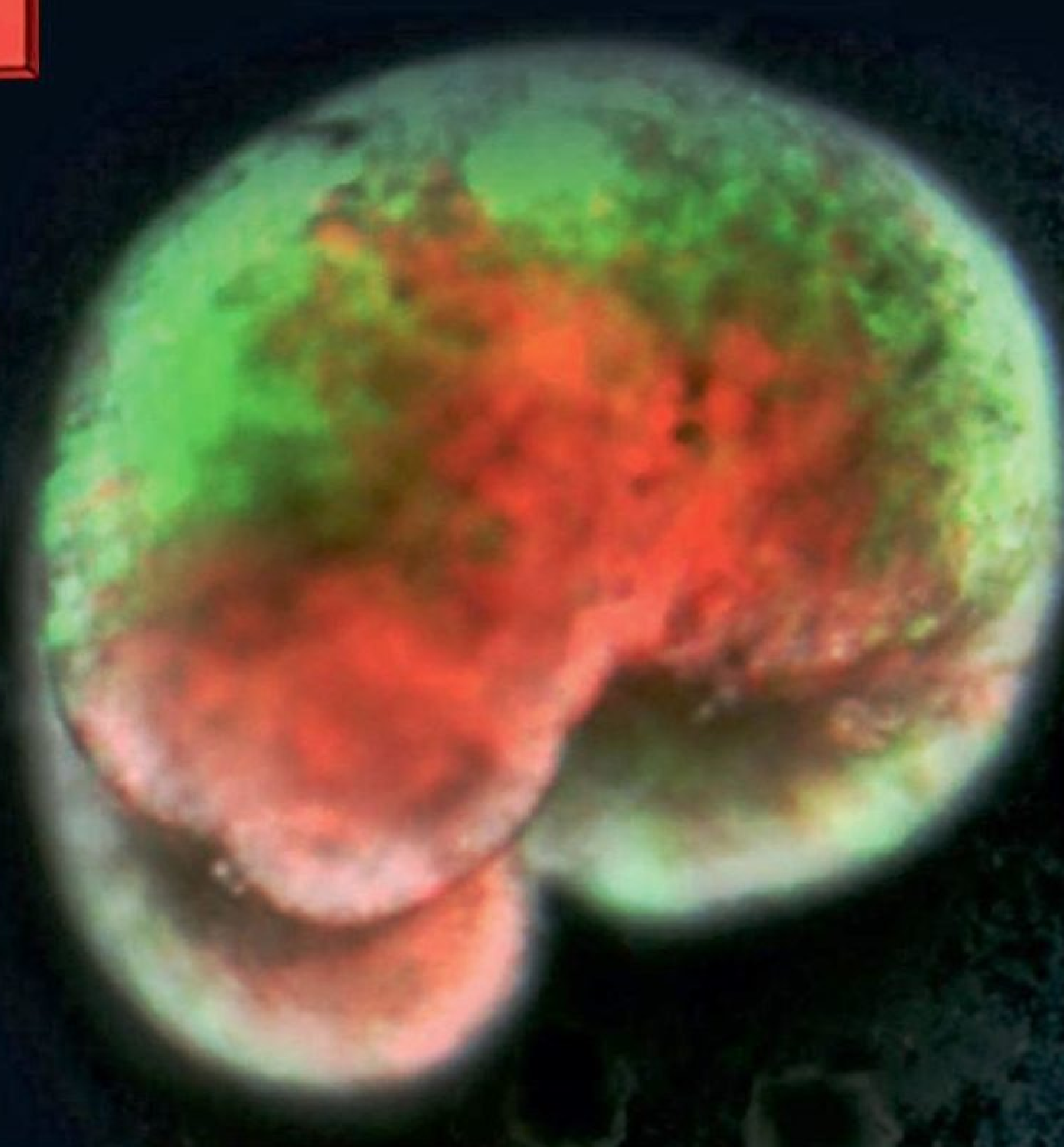


MISE AU POINT

Comment faire avancer le Xenobot

Configuration

Un algorithme a sélectionné la forme, jugée la plus adaptée pour le but recherché : elle présente deux catégories de voxels (pixels en 3D) : les rouges doivent assurer la propulsion, les verts la protection.



Réalisation

Chaque voxel est remplacé par une cellule différente de grenouille. Certaines proviennent du cœur (en rouge) et se contractent. D'autres, issues de la peau (en vert), protègent l'ensemble, qui parvient ainsi à avancer.

SAM KRIEGMAN, UVM

qués par une imprimante 3D. Avec Xenobot, c'est la première fois que le stade de la réalisation concrète à base de cellules vivantes est franchi. » La recette du Xenobot commence donc dans le ventre d'un supercalculateur « *qui utilise généralement un réseau de neurones artificiels* », poursuit l'expert. Il s'agit d'un système d'intelligence artificielle (IA) qui s'inspire de l'architecture du cerveau humain pour accomplir des tâches de reconnaissance et d'apprentissage machine. Ces réseaux neuronaux sont bien adaptés aux algorithmes évolutionnistes. Dans un premier temps, les spécialistes de l'université du Vermont ont cherché à obtenir un robot capable de se déplacer. La configuration qui a gagné l'épreuve de l'évolution s'est alors révélée être un empilement particulier de voxels — c'est ainsi que sont appelés les pixels en 3D comme des briques d'un jeu de construction — présentant une drôle de forme *(voir l'infographie ci-dessus)*. En outre, les différents voxels ne sont pas de même nature : certains sont capables de se contracter, d'autres de protéger l'ensemble. Cette configuration proposée par l'algorithme devant être en quelque sorte le design idéal d'un robot pouvant se déplacer. Place ensuite à la réalisation à partir de l'amphibien *Xenopus laevis*, bien connu des chercheurs en biotechnologies qui utilisent couramment ses têtards pour les prélèvements cellulaires. Les cel- ▶


EMMANUELLE MARCHADOUR

INTERVIEW

BERNADETTE BENSAUDE-VINCENT

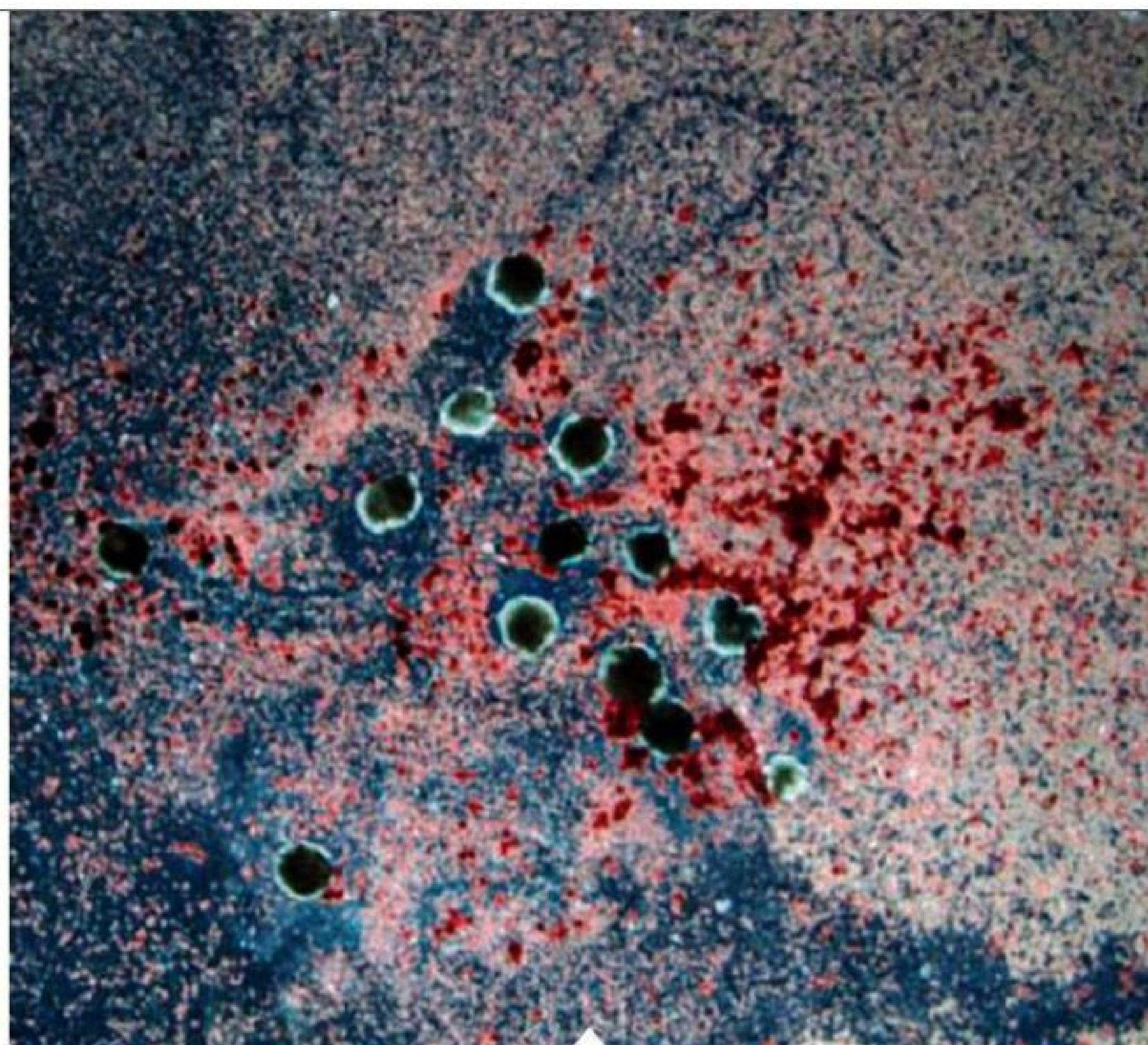
PROFESSEURE ÉMÉRITE EN PHILOSOPHIE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES À L'UNIVERSITÉ PARIS-I PANTHÉON-SORBONNE

« Il peut être le candidat idéal en matière de bioterrorisme »

Quel regard portez-vous sur ces travaux ?
Ces travaux en biologie de synthèse s'inscrivent dans un champ de recherche multidisciplinaire appelé NBIC, qui désigne la convergence entre les nanotechnologies, la biotechnologie, l'informatique et les sciences cognitives. Le vivant y est réduit à l'exécution d'un programme inséré dans une cellule. À cet effet, le Xenobot est investi de promesses de solutions à tous les problèmes actuels. Avec sa faculté d'avancer, il peut être un « vecteur » pour transporter des principes actifs : ses concepteurs vantent ses capacités à délivrer un médicament au sein d'une cellule spécifique ou de recueillir des microplastiques pour dépolluer.

Ces recherches ont été financées par la Darpa...
L'implication de l'agence du ministère américain de la Défense chargée des nouvelles technologies suggère que le Xenobot peut aussi être envisagé pour délivrer une arme bactériologique ou chimique contre un ennemi ciblé. Il est le candidat idéal en matière de bioterrorisme, capable de pénétrer dans l'organisme et délivrer un agent infectieux.

Le contexte économique est-il favorable ?
Oui, l'intérêt pour les Xenobots ou les organoïdes — ces systèmes multicellulaires qui reproduisent un organe *in vitro* — s'inscrit dans un contexte économique particulier. En effet, nous sommes en pleine crise de l'innovation pharmaceutique, une seule molécule sur 10 000 testées atteint aujourd'hui le marché. La tendance est de réutiliser des molécules connues afin de minimiser les coûts de développement autant que possible. L'ingénierie biologique qui fabrique des machines vivantes ou des organes sur puce permet d'innover sur les vecteurs plutôt qu'en matière de chimie. Ainsi on limite les essais sur des animaux et on réduit le coût des tests cliniques, indispensables à l'autorisation de mise sur le marché d'un médicament. Mais cette économie pose la question de la représentativité, de la fiabilité et de l'innocuité de ces machines vivantes. ■ **Propos recueillis par A. Kh.**


UVM

À peine plus gros qu'une tête d'épingle, les Xenobots (en bleu) savent se rassembler pour acheminer un médicament vers une cible ou dépolluer un milieu.

lules de son cœur ont été choisies pour composer les parties devant se contracter afin d'assurer la fonction motrice ; celles de sa peau pour la protection de l'ensemble. Toutes ont été mises en culture et, une fois parvenues à maturité, agencées sous microscope à l'aide de pinces et d'un faible courant électrique en suivant pas à pas le modèle conçu par l'algorithme évolutionniste. Placé dans un liquide nutritif, l'ensemble s'est mis à fonctionner : Xenobot s'est mis à avancer grâce aux contractions des cellules cardiaques !

Le nouveau défi : augmenter sa durée de vie

Forts de cette expérience, les chercheurs du Vermont se sont lancé un nouveau défi : la conception d'un spécimen, de forme sphérique cette fois, doté d'un vide en son centre. Surtout, il devra être apte à contenir un principe actif comme un médicament ou à récupérer un élément indésirable comme un déchet. Durée de la mission : quelques semaines au plus... *« Baignant dans un milieu nutritif, le Xenobot parvient à capter de l'énergie*, note Samuel Bottani. *Mais il est uniquement nourri par ses cellules de surface, celles enfouies au cœur du dispositif ne pouvant pas être correctement alimentées. »* Augmenter la durée de vie du Xenobot va donc représenter un challenge déterminant pour le futur de cette nouvelle « lignée » de robots. Ce qui pourrait passer par une évolution de sa forme au cours des prochaines réalisations. *« Une conception en éponge, par exemple, serait plus adaptée »*, poursuit le chercheur, car cela permettrait d'imprégner les cellules du cœur de matière nutritive. Enfin, comme les scarabées, le Xenobot est incapable de se relever si jamais il lui arrive de tomber ! Et là, retour au supercalculateur... qui va s'attaquer à ce problème algorithmique : il s'agira alors de changer la configuration optimale en lui ajoutant une troisième faculté, celle de s'adapter à son environnement, pour contourner les obstacles ou s'autoréparer en cas d'imprévu. D'ores et déjà les paris sont ouverts pour deviner la forme que prendront les futures générations de « machines vivantes ». ■

Azar Khalatbari

* www.pnas.org/content/117/4/1853

L'azote atmosphérique ne vient pas des volcans

Il pourrait provenir de comètes qui ont bombardé la Terre il y a environ 3,8 milliards d'années. Une nouvelle donne.

L'AZOTE, QUI COMPOSE 78 % de l'atmosphère terrestre, ne serait pas issu de l'intérieur de la Terre au gré des éruptions volcaniques, comme les géochimistes le pensaient jusqu'ici. C'est la surprenante conclusion d'un travail, publié dans la revue *Nature*, mené par une équipe internationale qui a utilisé le très grand spectromètre de masse de l'université de Californie à Los Angeles (États-Unis), un instrument hypersensible de 12 mètres de long. Un travail qui les oblige désormais à chercher une nouvelle origine pour cet élément.

Rappelons que le gaz émis par les volcans est composé de 99 % de CO_2, pour à peine 0,1 % d'azote (ou plutôt de diazote, N_2, la molécule formée de l'association de deux atomes d'azote). Même si ce dernier est donc très minoritaire, la Terre a connu des épisodes si intenses de volcanisme au cours de son histoire qu'ils paraissaient susceptibles de rendre compte de l'abondance actuelle de l'azote dans l'atmosphère. Mais comment s'en assurer ? « *Des géochimistes ont trouvé un moyen de reconnaître très précisément l'azote déjà présent dans l'atmosphère* », raconte Jabrane Labidi, premier signataire de l'article, aujourd'hui chercheur à l'Institut de physique du globe à Paris. Ainsi, plus de 99 % de l'azote de l'air est formé de l'isotope ^{14}N, mais sous l'effet des rayons UV, il se crée une infime quantité d'isotope ^{15}N dans la haute atmosphère. « *La présence de molécules de diazote formées de deux atomes de ^{15}N est la signature de l'azote atmosphérique* », précise le chercheur. Conséquence : s'il y a un réservoir d'azote dans le manteau terrestre, il n'a pas été exposé aux rayons UV et ne devrait pas comporter de ^{15}N.



P.H. BARRY

L'analyse d'échantillons de gaz prélevés dans plusieurs sites volcaniques terrestres (ici celui de Yellowstone, aux États-Unis) a montré que plus de la moitié de l'azote des volcans provient de l'air et non l'inverse.

Le rôle de vecteur de l'hydrothermalisme

Pour tester cette hypothèse l'équipe est allée recueillir du gaz provenant de différents volcans du globe : Yellowstone (États-Unis), Islande, Eifel (Allemagne). Et leur analyse au spectromètre est venue tout bouleverser : « *Ils comportaient tous la signature de l'azote atmosphérique ! Ce qui laissait supposer que l'azote des volcans provient en fait... de l'air. Et parfois à hauteur de 100 %, comme c'est le cas pour l'Islande dont la lave est pourtant originaire du manteau profond* », explique Jabrane Labidi. Reste qu'il faut maintenant expliquer comment l'azote de l'air a pu pénétrer dans les réservoirs volcaniques. « *La pluie dissout une partie de celui-ci et recharge ainsi les systèmes hydrothermaux en gaz atmosphérique. C'est probablement cet hydrothermalisme qui contamine les gaz volcaniques* », suppose le scientifique.

Mais s'il ne vient pas de l'intérieur de la Terre, d'où provient donc l'azote atmosphérique ? Sans doute faut-il désormais aux chercheurs regarder du côté des objets extraterrestres comme ces comètes qui ont bombardé la jeune planète il y a environ 3,8 milliards d'années et qui auraient pu être chargées de ce gaz. ■

Azar Khalatbari

Le fabuleux destin de Wonderchicken

Contemporain des derniers dinosaures, le fossile de ce super-poulet a été découvert aux Pays-Bas. Un poids plume qui bouscule l'histoire évolutive des oiseaux.

Par Rachel Mulot @RachelFleaux

C'EST UN SURVIVANT, un poids plume de 400 grammes, qui vient d'être décrit dans la revue *Nature* du 20 mars. L'extraordinaire *Asteriornis maastrichtensis*, surnommé Wonderchicken (« superpoulet ») par ses découvreurs européens ne paie pas de mine avec son gabarit de caille et son simple bec. Mais contrairement à son célébrissime parent dinosaure, le *T. rex*, et aux oiseaux primitifs, cet emplumé qui vivait il y a 66,7 millions d'années — soit moins d'un million d'années avant l'impact de l'astéroïde qui a éliminé les géants régnant alors sur Terre — a survécu à l'extinction de masse. Donnant ainsi naissance à une longue lignée comprenant les poulets et les canards modernes. Sans lui, pas de volailles dans nos basses-cours !
Une analyse détaillée de son petit crâne presque complet le classe clairement, en dépit de son grand âge, parmi les oiseaux modernes. Il combine en effet de nombreuses caractéristiques communes aux ansériformes (canards, oies, cygnes...) et aux galliformes (poules, pintades, faisans). Ce qui suggère que Wonderchicken est proche de leur dernier ancêtre commun. De surcroît, le fossile a été trouvé dans une carrière de calcaire près de la frontière belgo-néerlandaise, ce qui en fait aussi le premier oiseau moderne de l'âge des dinosaures jamais découvert hormis des restes fragmentaires en Chine et en Arctique. Au départ, l'équipe internationale dirigée par Daniel Field, de l'université de Cambridge (Royaume-Uni), avait juste repéré de menus fragments d'os de pattes affleurant sur un morceau de sédiment marin de la taille d'un jeu de cartes. Mais les fossiles d'oiseaux de cette période sont si rares que les scientifiques ont aussitôt décidé de scruter l'intérieur de la roche en utilisant la tomodensitométrie, une sorte de balayage aux rayons X à haute résolution. Pour découvrir, ébahis, à seulement un millimètre sous le rocher, une tête de piaf de 66,7 millions d'années ! *« C'est l'un des crânes d'oiseaux fossiles les mieux conservés tous âges confondus et de n'importe où dans le monde. Nous avons presque dû nous pincer quand nous l'avons vu »*, souligne Daniel Field. *« Sans ces scanners de pointe, nous n'aurions jamais su que nous détenions le plus vieux crâne d'oiseau moderne »*, renchérit Juan Benito, l'un de ses coauteurs, également de Cambridge.


PHILIP KRZEMINSKI

Reconstitution du crâne d'*Asteriornis*. Retrouvé presque complet, le fossile de 66,7 millions d'années mêle des caractères des galliformes (poules), et des ansériformes (canards).

L'hypothèse dominante pulvérisée

Cette découverte éclaire un point encore partiellement obscur : les origines de la diversité des oiseaux actuels, ces derniers dinosaures vivant sur la planète. *« Ce fossile fournit notre premier aperçu direct de ce qu'étaient les oiseaux modernes au cours des étapes initiales de leur histoire évolutive »*, expliquent les scientifiques. *« Jusqu'à présent, les fossiles datant de cette époque étaient relativement mal conservés*

FLORENCE GENDRE POUR SCIENCES ET AVENIR

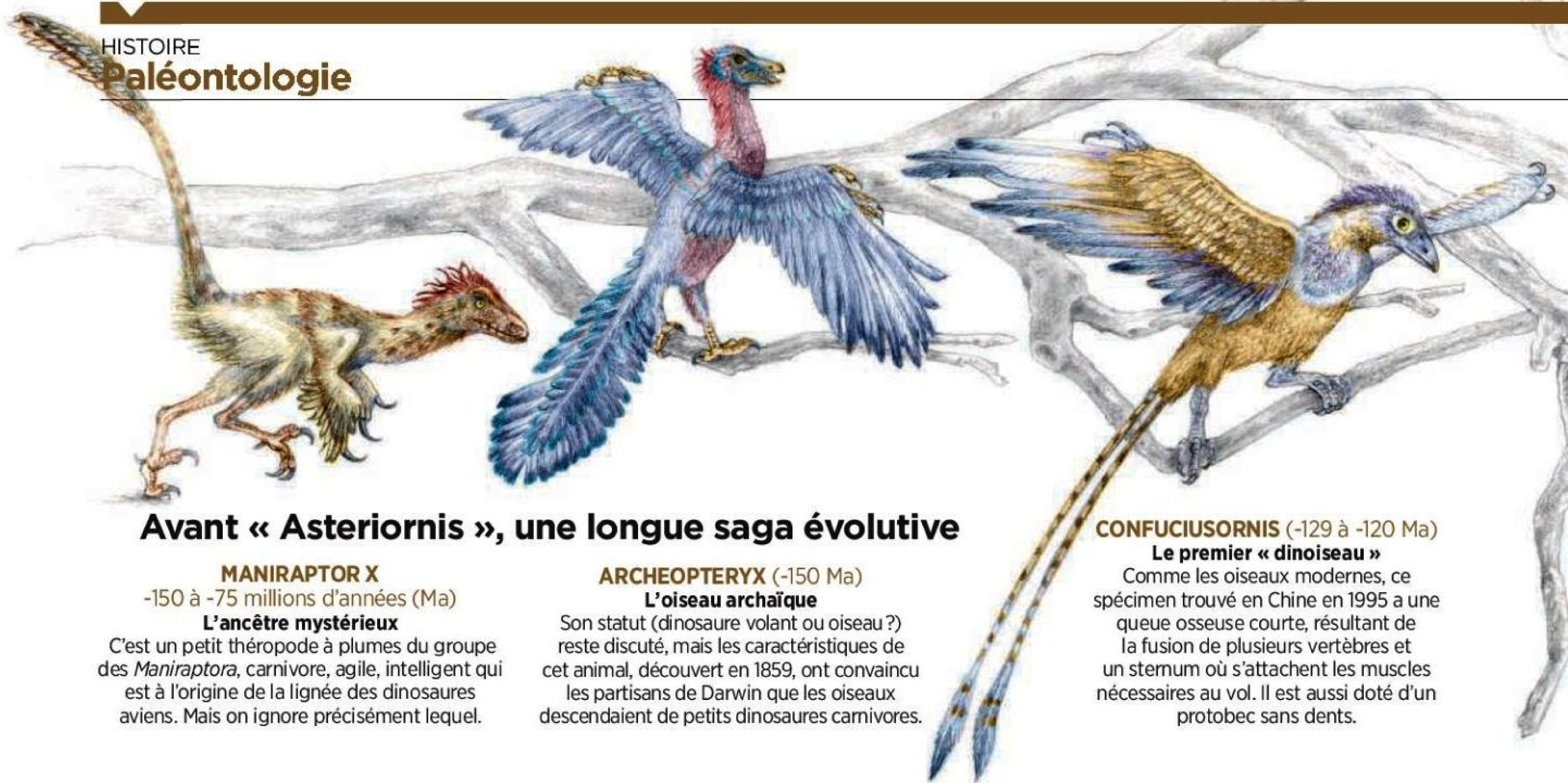
ÉVOLUTION

Les plumes ont précédé le vol

Les ailes ont d'abord été des attributs de séduction sexuelle. C'est ce que montre l'étude de Jakob Winter, de l'université de Bristol (Royaume-Uni), qui a identifié au microscope des structures porteuses de pigments (mélanosomes) dans les plumes fossiles de dinosaures non aviens, incapables de voler. Certaines d'entre elles étaient même iridescentes.
Peu à peu, certains dinosaures à plumes se seraient ainsi retrouvés avec des surfaces ailées suffisamment étendues pour créer de la portance aérodynamique. *« La capacité de planer puis de voler serait donc apparue fortuitement, donnant naissance aux dinosaures aviens »*, estime Stephen Brusatte, paléontologue à l'université d'Édimbourg (Écosse).
Avec des formes plus ou moins baroques à l'instar de *Microraptor gui*, un dinosaure vivant il a 130 millions d'années qui était doté... de quatre ailes.



Appelé familièrement Wonderchicken, le fossile a reçu le nom scientifique plus élégant d'*Asteriornis*, en référence à Astéria, la déesse grecque de la nuit étoilée, qui se transforme en caille. Un nom approprié pour une créature qui vivait juste avant l'impact de l'astéroïde de la fin du crétacé.



Avant « Asteriornis », une longue saga évolutive

MANIRAPTOR X
-150 à -75 millions d'années (Ma)
L'ancêtre mystérieux
C'est un petit théropode à plumes du groupe des *Maniraptora*, carnivore, agile, intelligent qui est à l'origine de la lignée des dinosaures aviens. Mais on ignore précisément lequel.

ARCHEOPTERYX (-150 Ma)
L'oiseau archaïque
Son statut (dinosaure volant ou oiseau ?) reste discuté, mais les caractéristiques de cet animal, découvert en 1859, ont convaincu les partisans de Darwin que les oiseaux descendaient de petits dinosaures carnivores.

CONFUCIUSORNIS (-129 à -120 Ma)
Le premier « dinoiseau »
Comme les oiseaux modernes, ce spécimen trouvé en Chine en 1995 a une queue osseuse courte, résultant de la fusion de plusieurs vertèbres et un sternum où s'attachent les muscles nécessaires au vol. Il est aussi doté d'un protobec sans dents.

ou incomplets et beaucoup d'autres dataient d'après la chute de l'astéroïde qui a signé la fin de la majorité des dinosaures », poursuit le paléontologue Éric Buffetaut, du CNRS. Et le fait qu'*Asteriornis* a été trouvé en Europe le rend proprement extraordinaire. Il fait exploser l'hypothèse dominante qui plaçait l'origine de ces oiseaux au Gondwana, le supercontinent austral qui, en se fracturant il y a 160 millions d'années, a donné naissance à l'Afrique, l'Amérique du Sud, l'Inde, l'Australie et l'Antarctique. *« Les archives fossiles du crétacé supérieur d'oiseaux d'Europe sont extrêmement rares* », jubile John Jagt, du musée d'Histoire naturelle de Maastricht (Pays-Bas). *« La découverte d'*Asteriornis *fournit l'un des meilleures preuves que l'Europe a été un lieu clé dans l'histoire de l'évolution des oiseaux modernes* », poursuite l'expert, alors que depuis plus d'une vingtaine d'années *« la grande majorité des oiseaux préhistoriques ont été trouvés dans la province du Liaoning, en Chine* », rappelle Li Zhiheng, de l'Institut de paléontologie des vertébrés de Pékin. Ce nouveau fossile indique qu'au début, du moins, certains oiseaux modernes étaient des créatures terrestres, familières des rivages et dotées d'un corps assez petit. *« Avec un peu de chance,* Asteriornis *inaugure une nouvelle ère de découvertes fossiles qui aideront à clarifier comment, quand et où les oiseaux modernes ont évolué pour la première fois* », précise John Jagt. Des analyses moléculaires de groupes d'oiseaux vivants suggéraient en outre que les oiseaux modernes avaient évolué bien avant l'extinction massive d'il y a environ 65 millions d'années, soit entre -139 et -89 millions d'années. Mais Wonderchicken est le premier fossile assez complet à placer définitivement un ancêtre moderne sur la scène. *« Son âge permet de penser que les estimations précédentes ont pu surestimer la précocité de ces oiseaux* », estime Kevin Padian, paléontologue des vertébrés de l'université de Californie à Berkeley (États-Unis).

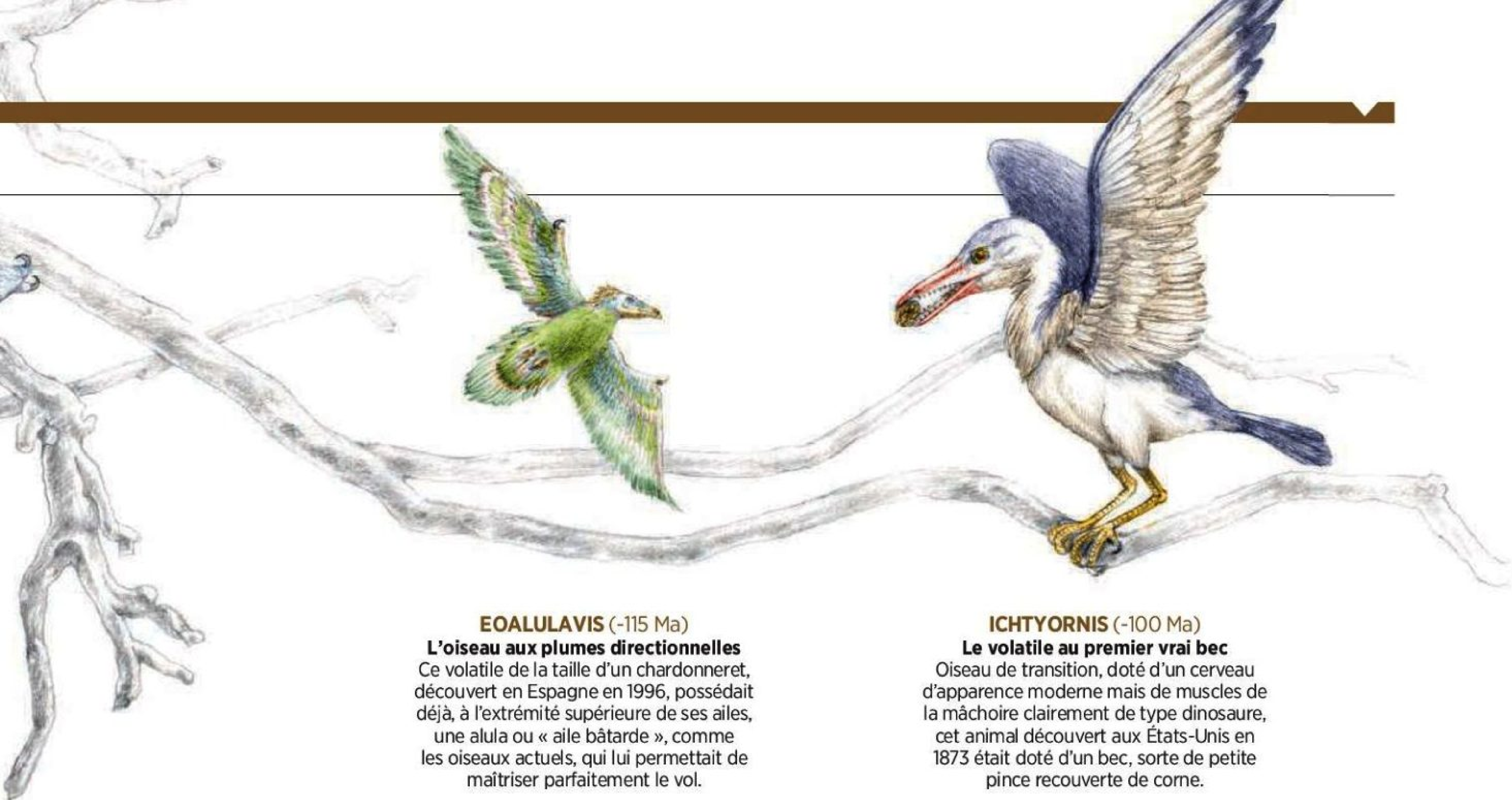
Reste à trouver l'ancêtre commun

Les oiseaux de type moderne partagent plusieurs traits clés, tels que les becs édentés et les os du pied fusionnés. Il en existe aujourd'hui près de 11 000 espèces vivantes, des paléognathes (incapables de voler, comme les autruches), aux ansériformes (aquatiques) et galliformes (terrestres) ainsi que les *Neoaves* (les 95 % restants). Tous partagent un ancêtre commun. Mais lequel ? *« Depuis la découverte des dinosaures à plumes, et en tout premier lieu du* Sinosauropteryx, *en 1996, il est établi que les oiseaux sont issus des dinosaures et plus précisément, des théropodes car-*

PHYSIOLOGIE

Petit corps, gros cerveau

Le gros cerveau antérieur (prosencéphale) des oiseaux explique leurs remarquables capacités cognitives. C'est là que loge en effet « l'ordinateur de vol », soit les circuits neuronaux avec lesquels le volatile contrôle ses déplacements dans les trois dimensions. D'où vient-il ? Certes, les oiseaux modernes sont issus d'une lignée de théropodes dotés de cerveaux déjà plus complexes que ceux d'autres dinosaures, par exemple le brontosaure. Mais avant la grande extinction il y a 65 millions d'années, oiseaux et dinosaures possédaient des cerveaux de taille comparable au regard de leur stature, comme l'a montré cette année un travail de Daniel Ksepka, du muséum d'Histoire naturelle de New York (États-Unis). Les survivants à la chute de l'astéroïde ont donc dû occuper les niches vacantes et c'est alors que l'évolution a sans doute favorisé la sélection de créatures dotées d'un petit corps mais d'un plus gros cerveau.



EOALULAVIS (-115 Ma)
L'oiseau aux plumes directionnelles
Ce volatile de la taille d'un chardonneret, découvert en Espagne en 1996, possédait déjà, à l'extrémité supérieure de ses ailes, une alula ou « aile bâtarde », comme les oiseaux actuels, qui lui permettait de maîtriser parfaitement le vol.

ICHTYORNIS (-100 Ma)
Le volatile au premier vrai bec
Oiseau de transition, doté d'un cerveau d'apparence moderne mais de muscles de la mâchoire clairement de type dinosaure, cet animal découvert aux États-Unis en 1873 était doté d'un bec, sorte de petite pince recouverte de corne.

nivores », explique Stephen Brusatte, paléontologue à l'université d'Édimbourg (Royaume-Uni), spécialiste de l'évolution. Certains de ces dinosaures étant particulièrement massifs, comme le *T. rex* ou l'allosaure. « *Cependant, les théropodes à plumes constituent un clade* [groupe partageant un ancêtre commun] *d'animaux de petite taille, particulièrement agiles et intelligents, nommé* Maniraptora », poursuit le spécialiste. Popularisés sous le terme de « *raptors* » dans le film *Jurassic Park*, les maniraptoriens incluent notamment *Velociraptor* (vieux de 71 à 75 millions d'années, découvert en Mongolie), *Deinonychus* (vieux de 108 à 115 millions d'années, trouvé Amérique du Nord) ou encore *Zhenyuanlong* (125 millions d'années, issu de Chine). « *C'est quelque part au sein de cette foule que se trouve la ligne de démarcation entre oiseaux et non-oiseaux, ou plutôt entre dinosaures aviformes* [du latin *aves*, oiseau] *et dinosaures non aviformes.* »

La stature modeste des volatiles, tout comme les plumes, s'est manifestée au sein de lignées bien antérieures à leur apparition *(lire l'encadré p. 42)*. « *La gracilité et la petite taille des oiseaux sont le résultat d'une réduction progressive, qui a débuté avec les maniraptoriens et qui a duré plus de 50 millions d'années* », explique Mike Lee, de l'université Flinders (Australie), auteur d'une publication sur le sujet en 2014. Ses conclusions rejoignent celles de Roger Benson, de l'université d'Oxford (Royaume-Uni), parues la même année. Mais pourquoi cette miniaturisation ? « *Une possibilité serait que le rapetissement des dinosaures à plumes leur ait donné accès à de nouvelles niches écologiques comme les arbres, broussailles, grottes ou terriers qui étaient inaccessibles aux mastodontes* », explique Roger Benson. Les fouilles montrent que des dizaines d'oiseaux primitifs se sont ainsi déployées, avec une grande diversité. Certains, dont l'*Archeopteryx*, ont marqué des étapes évolutives cruciales, mais Wonderchicken avait peut-être un petit quelque chose de plus...

Un opportuniste, comme les poulets d'aujourd'hui

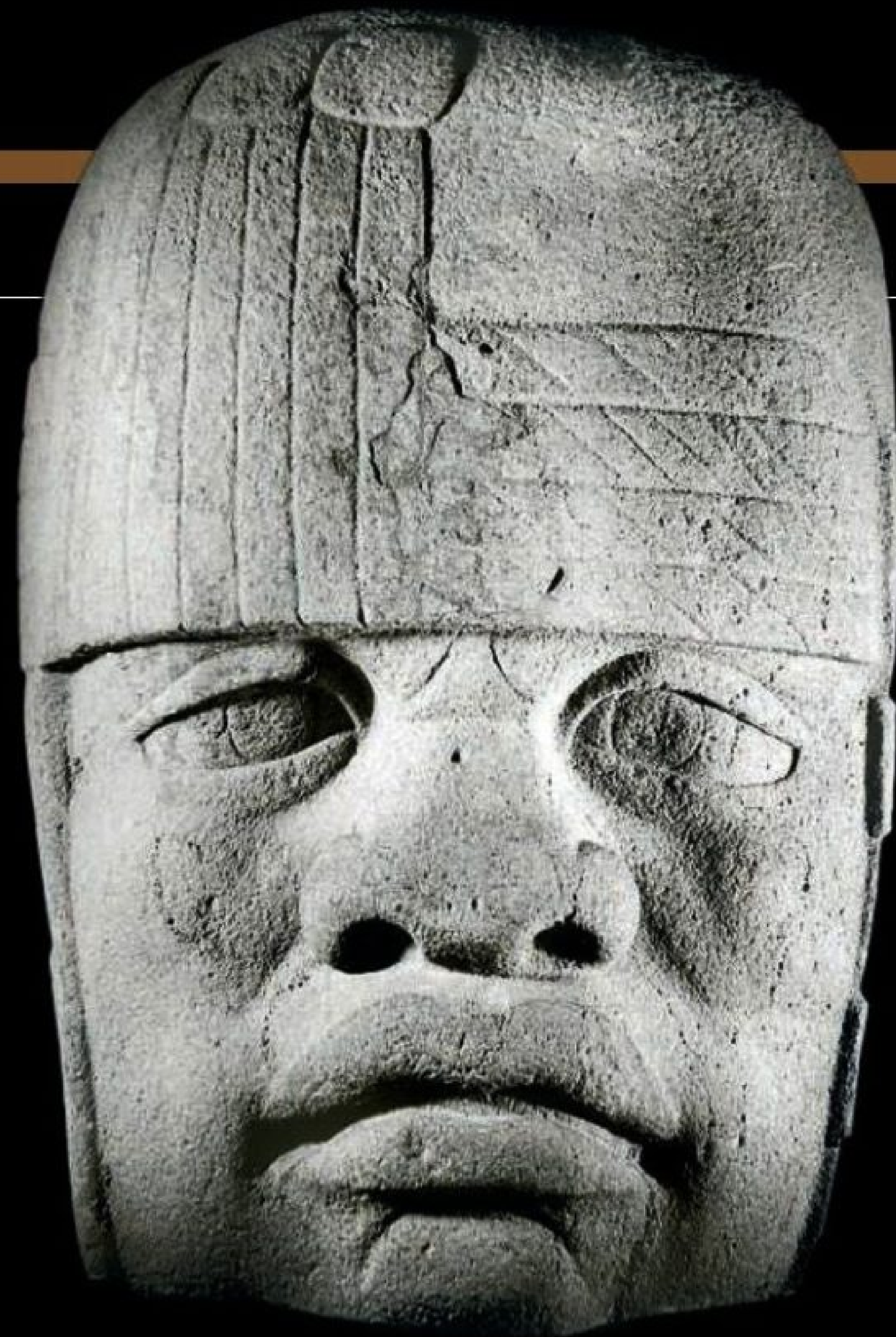
« *La partie avant de son crâne est celle d'un poulet, y compris l'os nasal qui faisait partie de la narine, ce qui a aidé à façonner son bec. Or, un poulet de basse-cour mange tout ce que vous lui mettez sous le bec* », précise Daniel Field, et cela se reflète dans la forme non spécialisée de cet organe. Ce qui contraste avec d'autres oiseaux dont les becs sont clairement spécialisés dans un régime alimentaire particulier, comme la fonction déchiqueteuse de celui du rapace ou sirotante du colibri. Comme les poulets d'aujourd'hui, Wonderchicken devait être un opportuniste, ce qui a pu constituer un trait crucial. « *C'est un atout pour survivre !* », ajoute Daniel Field. *A priori*, Wonderchicken et les éventuels autres oiseaux modernes devaient être bien peu nombreux au crétacé, formant une petite population discrète et peu diversifiée au sein d'une pléthore d'oiseaux primitifs. Mais ils ont survécu à la catastrophe pour donner naissance à l'extraordinaire avifaune actuelle. ■

FLORENCE GENDRE POUR SCIENCES ET AVENIR - SOURCES : STEPHEN BRUSATTE, KEVIN PADIAN, LI ZHIHENG, JINGMAI O'CONNOR, ALIDA BAILLEUL, MICHAEL HANSON, LUIS CHIAPPE



JOHAN STRUCKERS

« C'est l'une des meilleures preuves que l'Europe a été un lieu clé dans l'histoire de l'évolution des oiseaux modernes »
John Jagt, paléontologue au musée d'Histoire naturelle de Maastricht (Pays-Bas)

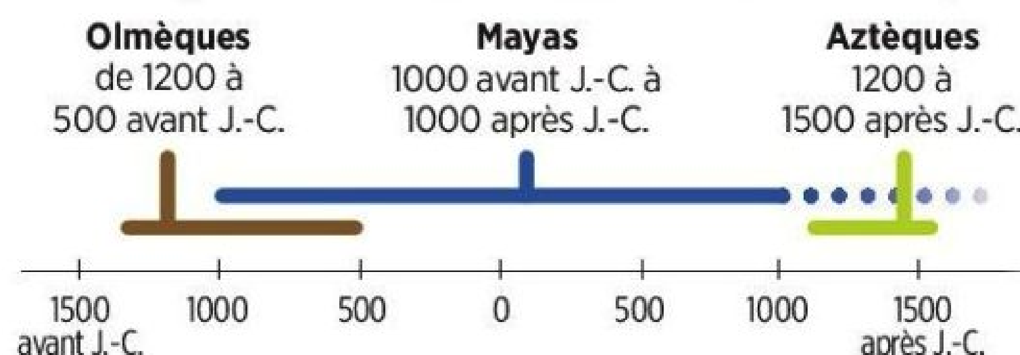
Les Olmèques, une civilisation de colosses

Ces anciens habitants du Mexique ont sculpté d'étranges têtes géantes dont on commence à peine à comprendre la signification. L'archéologue Ann Cyphers s'apprête à publier une somme sur ce peuple dont Mayas et Aztèques sont les héritiers.

Têtes cyclopéennes en basalte ou encore *baby faces* — figurines d'adultes aux allures d'enfants potelés —, ces créations de la civilisation olmèque sont reconnaissables entre toutes. Elles captivent les spécialistes qui cherchent à en comprendre la signification depuis des décennies. Référence mondiale sur cette société qui régna sur le golfe du Mexique du XIII^e au IV^e siècle avant notre ère, l'Américaine Ann Cyphers leur a consacré sa vie. Couronnée en décembre 2019 par le prestigieux prix de la recherche du 4^e Forum d'archéologie de Shanghai (Chine), l'archéologue de



Les 3 grandes cultures de Mésoamérique



l'Université nationale autonome de Mexico (Unam), s'apprête à publier la somme de ses découvertes. Des travaux qui ont renouvelé l'approche de cette société, considérée comme la « mère » de toutes les civilisations mésoaméricaines, et dont les héritiers furent les Mayas et les Aztèques. Régnant sur les épaisses forêts de la côte sud du golfe du Mexique, les Olmèques ont étendu leur territoire jusqu'au nord-ouest du Costa Rica et atteint un très haut niveau de développement. Le nom qu'ils se donnaient ne nous étant pas parvenu, ils ont été surnommés Olmeca, le « peuple du pays du caoutchouc » en



Ces visages sculptés dans la pierre dure seraient des portraits géants de dignitaires. Découverts à San Lorenzo-Tenochtitlan, au Mexique, ils étaient probablement peints à l'origine.

BRIZIOMARTINEZ

ART CYCLOPÉEN

Le mystère des grosses têtes

Sur les 17 « têtes colossales » olmèques recensées à ce jour au Mexique, dix ont été découvertes à San Lorenzo, quatre sur le site de La Venta, deux à Tres Zapotes et une à La Cobata. De possibles fragments ont aussi été touvés à Tlacozotitlan, dans l'État du Guerrero, ainsi qu'au Guatemala, dans la région de Suchitepequez. La taille de ces sculptures monumentales varie entre 1,45 mètre et 3,40 mètres pour un poids allant de 8 tonnes à 50 tonnes! Des traces de stuc et de peinture rouge ont été relevées sur l'une d'elles, laissant penser que la plupart étaient peintes. Elles ont été sculptées dans des pierres dures (basalte et andésite), dont l'extraction et le transport se faisaient par voie terrestre ou fluviale à partir de gisements situés sur la côte du golfe du Mexique.

langue nahuatl, une appellation confortée par la découverte, au XXe siècle, de balles en caoutchouc dans les sites où ils avaient vécu. Preuve que ce peuple utilisait depuis longtemps la sève collante et laiteuse de l'arbre *Castilla elastica*.

Phéniciens, Africains voire extraterrestres...

Mais les Olmèques sont surtout connus pour avoir façonné des têtes gigantesques à partir de monolithes de plusieurs tonnes, lesquelles « *ne sont ni d'origine extraterrestre, ni africaine !* », s'empresse de préciser Ann Cyphers. Car depuis leur exhumation, un mythe tenace entoure ces étranges visages, né des commentaires d'un antiquaire mexicain, José Maria Melgar y Serrano, qui avait pu observer le premier mis au jour en 1862 par un paysan à Veracruz. « *Il lui avait trouvé un petit air "éthiopique"* », explique l'archéologue qui rappelle qu'aucun scientifique à l'époque n'envisageait l'existence de sociétés avancées en Amérique. Depuis les campagnes de Bonaparte en Égypte et la découverte de Ninive en Irak, toute l'attention était en effet tournée vers le Moyen-Orient. « *La présence de Phéniciens ou encore d'Africains en Amérique était alors une théorie en vogue* », poursuit Ann Cyphers. « *C'était une façon de dénier aux populations américaines l'aptitude à être à l'origine de puissantes civilisations,* précise Caterina Magni, spécialiste des Olmèques. *Or aucune relation n'a jamais été établie entre le continent africain et la Mésoamérique.* » Ce que la génétique a récemment confirmé, ajoute l'anthropologue Enrique Villamar Bercerit, de l'Unam : « *Une étude pionnière d'ADN mitochondrial prélevé sur des restes humains a conclu à l'origine américaine incontestable des Olmèques. Ce peuple partageait le plus fréquent des cinq groupes mitochondriaux caractéristiques des populations indigènes du continent.* »

« *Les têtes cyclopéennes sont des portraits de dirigeants, tous différents les uns des autres* », reprend Ann Cyphers. Alors qu'elle dirigeait les fouilles de San Lorenzo-Tenochtitlan, site considéré comme le berceau de la culture olmèque, l'archéologue américaine a elle-même exhumé la 10e des 17 têtes découvertes à ce jour *(lire l'encadré ci-dessus)*. Sur place, des trônes taillés dans la roche ont également été retrouvés, l'ensemble composant une sorte d'allée royale disposée en deux lignes orientées nord-sud. « *Quand j'ai commencé mes travaux dans les années 1970, San Lorenzo était considérée comme une ville de 50 hectares, où vivaient moins de 5000 personnes. Or, il apparaît aujourd'hui qu'elle*



C.MAGNI

> « [Invoquer l'influence des Africains revenait à] dénier aux peuples américains la capacité à créer de grandes civilisations »

Caterina Magni, archéologue et anthropologue, spécialiste des Olmèques

couvrait 800 hectares occupés par 11 000 habitants », explique l'archéologue qui a décrypté l'organisation du site : « *San Lorenzo était le lieu de résidence de l'élite, alors que le reste de la population vivait dans de petits hameaux agricoles en périphérie.* » Elle en a également retracé la chronologie : vers 1500-1200 avant J.-C., un village primitif a pris place sur le plateau de San Lorenzo, puis s'est notablement développé vers 1350-1250 avant. J.-C. Une plate-forme de 1200 m de long pour 600 m de large a alors été aménagée sur un promontoire naturel. Et c'est vers 1250-1150 avant J.-C., au cours de la période dite Chicchara, que sont apparues les premières têtes monumentales. San Lorenzo atteint son apogée vers 1150-900 avant J.-C. avant de commencer à perdre de son influence vers 700 avant J.-C.

Mais comment expliquer que ces dignitaires soient représentés avec l'arrière du crâne aplati, les yeux en amandes et le nez épaté ?



THE SAN LORENZO TENOCHTITLÁN ARCHAEOLOGICAL PROJECT

L'archéologue Ann Cyphers sur le site de San Lorenzo, au Mexique.

« *En raison des déformations anatomiques auxquelles ils étaient soumis*, explique Ann Cyphers. *Cette modification cranio-faciale était réalisée dès la naissance, quand les os sont encore malléables. Cela signait l'appartenance au groupe.* » Une explication qui n'exclut pas une recherche esthétique. « *Ces têtes expriment un style comme il a pu en exister ailleurs dans le monde, en Égypte par exemple avec le pharaon Akhenaton qui encouragea l'art d'Amarna fondé lui aussi sur des déformations* », ajoute l'archéologue.

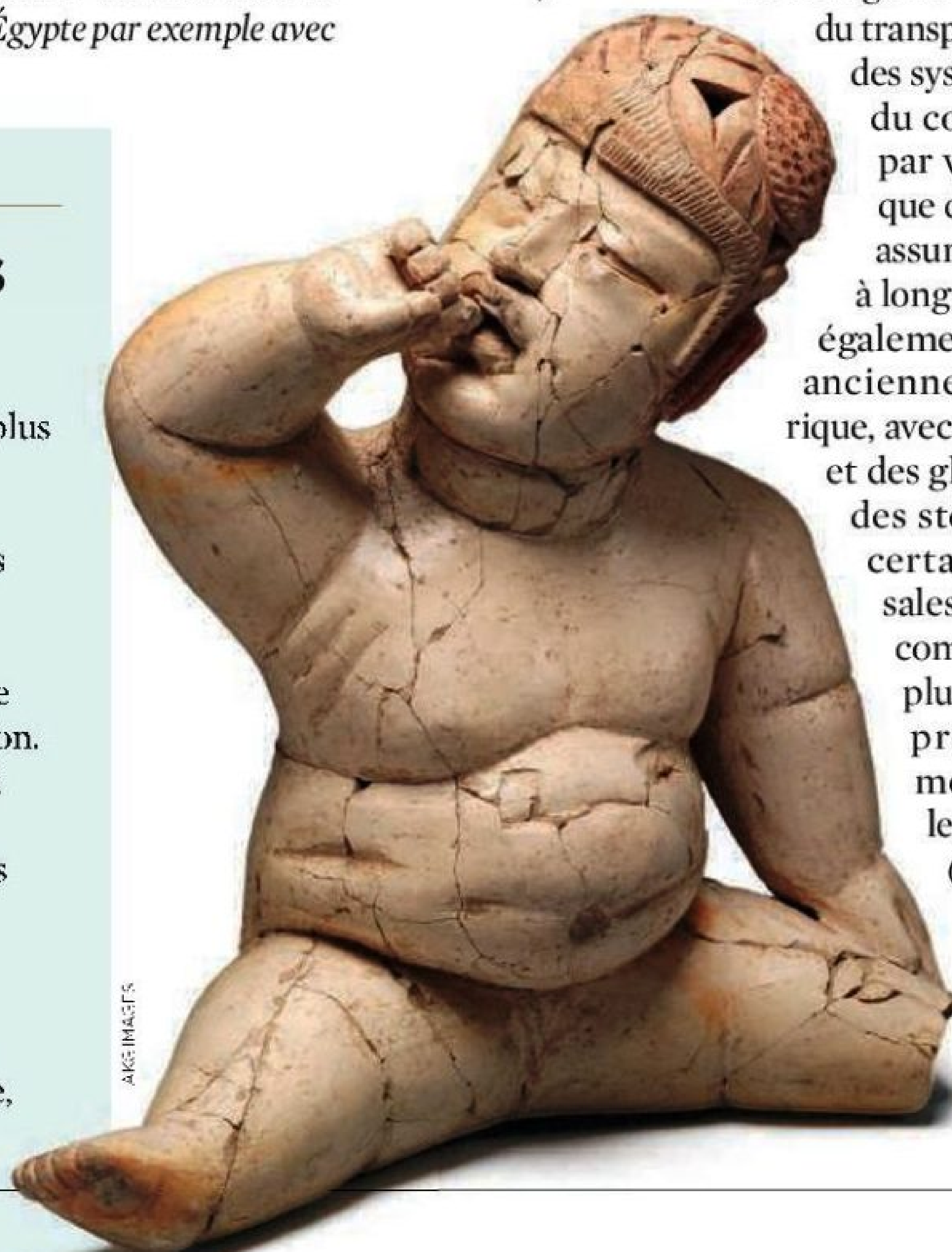
L'héritage olmèque s'est diffusé dans toutes les cultures mésoaméricaines postérieures. Des déformations identiques ont ainsi été retrouvées chez l'élite maya. Mais les Olmèques ont légué bien plus encore. Ils sont en effet les premiers dans toute la Mésoamérique à avoir établi des calendriers ou encore une architecture sacrée en lien avec son environnement : l'archéologue américain Robert Heizer (1915-1979) a ainsi suggéré que la Grande Pyramide de La Venta, le plus grand centre cérémoniel olmèque, imitait un volcan des montagnes de Tuxtlas, visibles depuis le site.

La plus ancienne écriture d'Amérique

Les Olmèques sont aussi à l'origine des habitations en terrasses, de l'aménagement de plates-formes, du transport de l'eau grâce à des systèmes de drainage, du commerce régional par voie fluviale tandis que de larges chaussées assuraient les échanges à longue distance. Ils ont également inventé la plus ancienne écriture d'Amérique, avec des pictogrammes et des glyphes attestés sur des stèles ainsi que sur certaines têtes colossales. Enfin, ils sont au commencement de la plus spectaculaire des pratiques rituelles mésoaméricaines : les sacrifices humains *(lire ci-contre)* que reprendront toutes les cultures postérieures. ■

Bernadette Arnaud
@Narudaa Arnaud

Les « baby faces », figurines d'adultes aux allures de poupons en céramique, sont aussi des œuvres emblématiques de la culture olmèque.



AKG IMAGES

RITUELS

Premiers adeptes des sacrifices humains

C'est à San Lorenzo et El Manatí, deux des plus importants sites olmèques au Mexique, qu'ont été retrouvées les premières preuves de sacrifices humains en Mésoamérique, datées de 1200 à 1000 avant J.-C. Les restes de six hommes adultes y ont été mis au jour. Ils avaient été décapités et démembrés avant d'être enterrés dans le cadre d'un rituel de consécration. Le squelette d'un autre homme adulte, lui aussi décapité et découpé, a été retrouvé sous un bâtiment d'apparat. Les enfants n'étaient pas épargnés comme en témoignent des corps, démembrés à l'occasion de rituels dans un sanctuaire sacré des montagnes, exhumés à El Manatí. Les Mayas et plus tard les Aztèques pratiqueront eux aussi ces sacrifices en nombre, perpétuant le lointain héritage des Olmèques.


ANNABELLE COCOLLOS/CONSEIL DÉPARTEMENTAL DU CALVADOS IN GERMAIN-VALLÉE ET AL. 2015

L'analyse moléculaire de résidus alimentaires trouvés dans les poteries (ici, celles de Verson, en France) a permis de déterminer quel type de nourriture était consommé au nord et au sud.

Buveurs de lait et mangeurs de viande au néolithique

Une vaste étude a montré des régimes alimentaires très différenciés chez les populations d'agriculteurs et d'éleveurs en Europe de l'Ouest, il y a 7500 ans.

De la viande au sud, du lait au nord ! C'est l'étonnante ligne de fracture tracée par une étude de cinq années qui a porté sur l'évolution des modes de consommation alimentaire chez les populations d'agriculteurs et d'éleveurs arrivées dans l'ouest de l'Europe il y a 7500 ans. L'étude s'est fondée sur l'analyse moléculaire de résidus alimentaires conservés dans plus de 246 poteries recueillies sur 24 sites de fouilles répartis sur toute la façade maritime européenne de la péninsule Ibérique à la Baltique occidentale, comme le rapporte la revue *Current Anthropology*. Elle a été menée par une équipe dirigée par Miriam Cubas Morena, préhistorienne des universités d'York (Royaume-Uni) et d'Oviedo (Espagne) qui a examiné les traces des lipides (graisses) consommés par ces premières populations agropastorales. Les résidus de produits laitiers (fromages, fromages frais type faisselle...) se sont révélés particulièrement fréquents dans les poteries provenant des îles Britanniques, de France ou encore de la Baltique occidentale. Ils sont plus rares dans ce qui est aujourd'hui l'Espagne et le Portugal, ce qui suggère que les caprins (moutons et chèvres) y étaient élevés de préférence pour leur viande. La consommation de lait y était beaucoup moins importante qu'à des latitudes plus hautes, en Irlande, Grande-Bretagne ou Normandie. Un constat inattendu. « *Les agriculteurs du néolithique qui ont colonisé les régions du Nord, au climat plus rude, ont peut-être trouvé dans le lait de vache, riche en vitamine D et en matière grasse, les avantages nutritionnels dont ils avaient besoin* », explique Gregor Marchand, préhistorien, directeur de recherche CNRS et enseignant à l'université Rennes-I, cosignataire de l'article. Les auteurs estiment également que ces différences d'alimentation pourraient expliquer que la tolérance des adultes au lactose soit aujourd'hui plus élevée parmi les populations du nord de l'Europe que parmi celles du sud.

Peu de preuves concernant les produits de la mer

Plus étonnant encore, les résidus culinaires du néolithique ont livré peu de preuves de consommation d'aliments d'origine marine dans des zones littorales où la mer fournissait pourtant des ressources abondantes. Et cela alors que poissons et coquillages étaient mangés en quantité par les populations de chasseurs-cueilleurs-pêcheurs du mésolithique, quelque 2500 ans plus tôt. Seule exception : les populations d'agriculteurs de l'ouest de la Baltique chez qui les produits de la mer rivalisaient avec les produits laitiers. Néanmoins, les chercheurs restent prudents : « *Dans les régions atlantiques, les ressources marines ont peut-être été transformées selon d'autres procédés de cuisson* », et leur trace s'est perdue, explique Gregor Marchand. ■

Bernadette Arnaud
@NarudaArnaud



Dans l'intimité de la floraison

Une équipe française explique comment une protéine régit le comportement des plantes à fleurs en fonction de la température. Une découverte qui s'inscrit dans une longue lignée d'investigations pour percer cet odorant mystère.

Par Loïc Chauveau @Loïc_Chauveau

C'EST LA DANSE DES SEPT VOILES. Un par un, les secrets de la fleur se révèlent. Protéine après protéine, gène après gène, le mécanisme le plus étrange du monde végétal est en passe d'être décrit même si rien ne saurait totalement percer l'intimité de la rose. La dernière avancée scientifique date d'avril 2020 et a permis de comprendre comment les plantes ressentent la température extérieure pour enclencher leur floraison à bon escient. Cette réponse à la température ambiante tient en une minuscule protéine que le Laboratoire de physiologie cellulaire et végétale de Grenoble (CNRS/CEA/Inrae/université Grenoble Alpes) vient de découvrir. *« La plante possède un assemblage de trois protéines —* l'evening complex *— qui donne le signal de la floraison en se détachant de l'ADN. Nous sommes parvenus à déterminer qu'une seule d'entre elles — nommée ELF3 — réagit à une modification de la température »*, expose Chloé Zubieta, chercheuse au CNRS, coauteure de l'étude.

PASCAL PITTORINO/NATURAGENCY

Un processus encore largement méconnu

Cette découverte éclaire une étape clé d'un processus complexe et encore mal connu. Pour comprendre, il faut rappeler que la fleur est un organe sexuel. Le pollen produit par les étamines d'une plante atteint le sommet du pistil d'une autre (le stigmate) grâce au



La teinte délicate qu'arbore cette rose est due aux anthocyanes.

PIGMENTS

Couleurs et parfums sont liés

Pour attirer les pollinisateurs, les fleurs déploient couleurs et parfums. Leur palette ne comprend que trois pigments qui couvrent cependant un large spectre, à l'exclusion du bleu obtenu par effet d'optique. Les anthocyanes produisent du violet, du jaune et du rouge ; les flavonols d'autres variations de jaune ; les caroténoïdes les oranges. *« Ce qui est surprenant, c'est qu'un parfum est toujours associé à une couleur. Malgré tous nos efforts, nous n'avons jamais réussi à casser l'une de ces associations »*, s'extasie Mohamed Bendahmane, chercheur à l'École normale supérieure, laboratoire reproduction et développement des plantes (ENS Lyon Inra-Inria-CNRS-université Lyon-I).

vent ou à un insecte pollinisateur. Un tube pollinique grandit alors à l'intérieur des carpelles pour aller féconder des ovules. Le pistil se transforme ensuite en fruit sec ou charnu contenant des graines pour la génération suivante. Au lieu de conserver les mêmes attributs toute la vie comme la grande majorité des animaux, les plantes en changent donc tous les ans. Le mécanisme est connu depuis fort longtemps. Et pour cause : tous les fruits et légumes que l'homme mange proviennent des plantes à fleurs ! Mais cela ne fait que trois décennies que les chercheurs comprennent un peu mieux comment elles se forment. Auparavant, il s'agissait plutôt d'intuitions.

Les observations de Goethe confirmées par la génétique

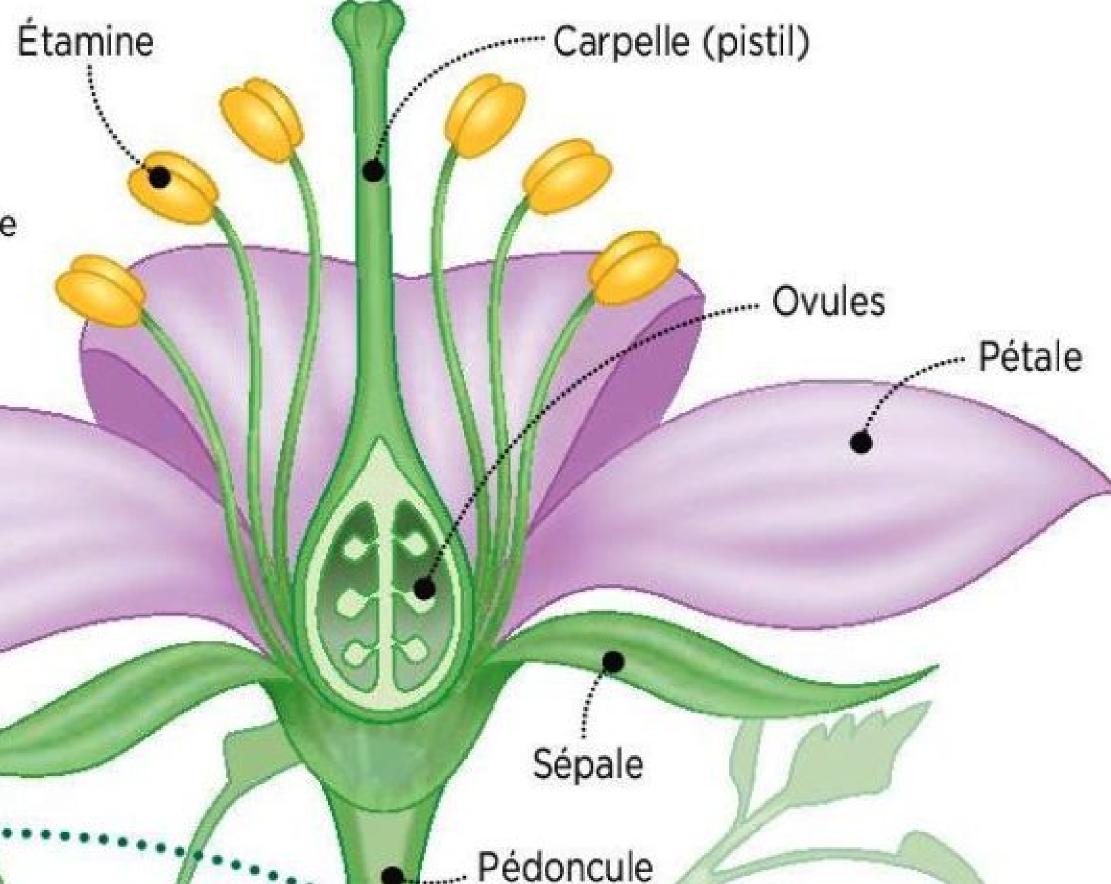
Charles Darwin s'est ainsi beaucoup interrogé, tant sur les origines évolutives des plantes à fleurs *(lire l'encadré p. 51)* que sur leur surprenante coopération avec les insectes. *« Mais c'est surtout le poète allemand Goethe — également botaniste — qui a émis l'hypothèse dès 1790 que tous les organes de la fleur sont de la même composition que la feuille ou la tige*, note François Parcy, chercheur au Laboratoire de physiologie cellulaire et végétale de Grenoble (CNRS/CEA). *Or, cela n'a pu être prouvé que récemment avec l'aide de la génétique ! »* Goethe avait appuyé sa démonstration sur l'observation de fleurs « ratées », exhibant des étamines déformées, des pétales absents, voire des tiges continuant à pousser à travers la corolle. *« Deux siècles plus tard, les généticiens ne procèdent pas autrement*, s'amuse François Parcy. *L'observation de plantes mutantes* ▶

JEFF FOOTT/NATUREPL/EBPHOTO

◀ **Les fleurs de printemps** (ici coquelicots de Californie et phacélies) se déploient quand les jours rallongent.

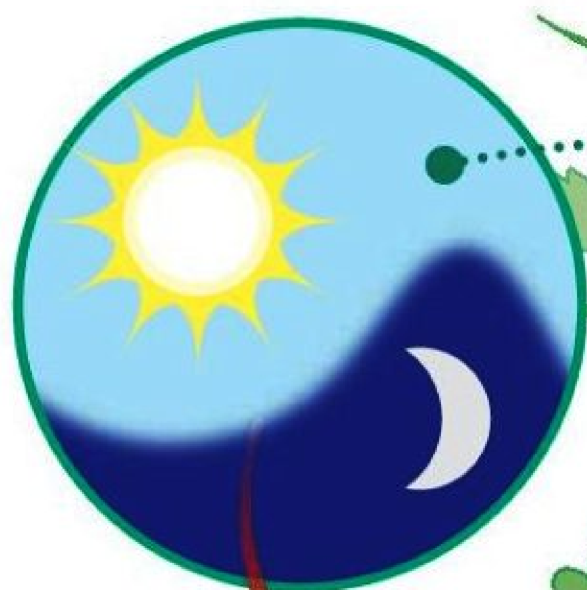
MÉCANISME

30 ans de découvertes majeures



1991 : trois gènes clés

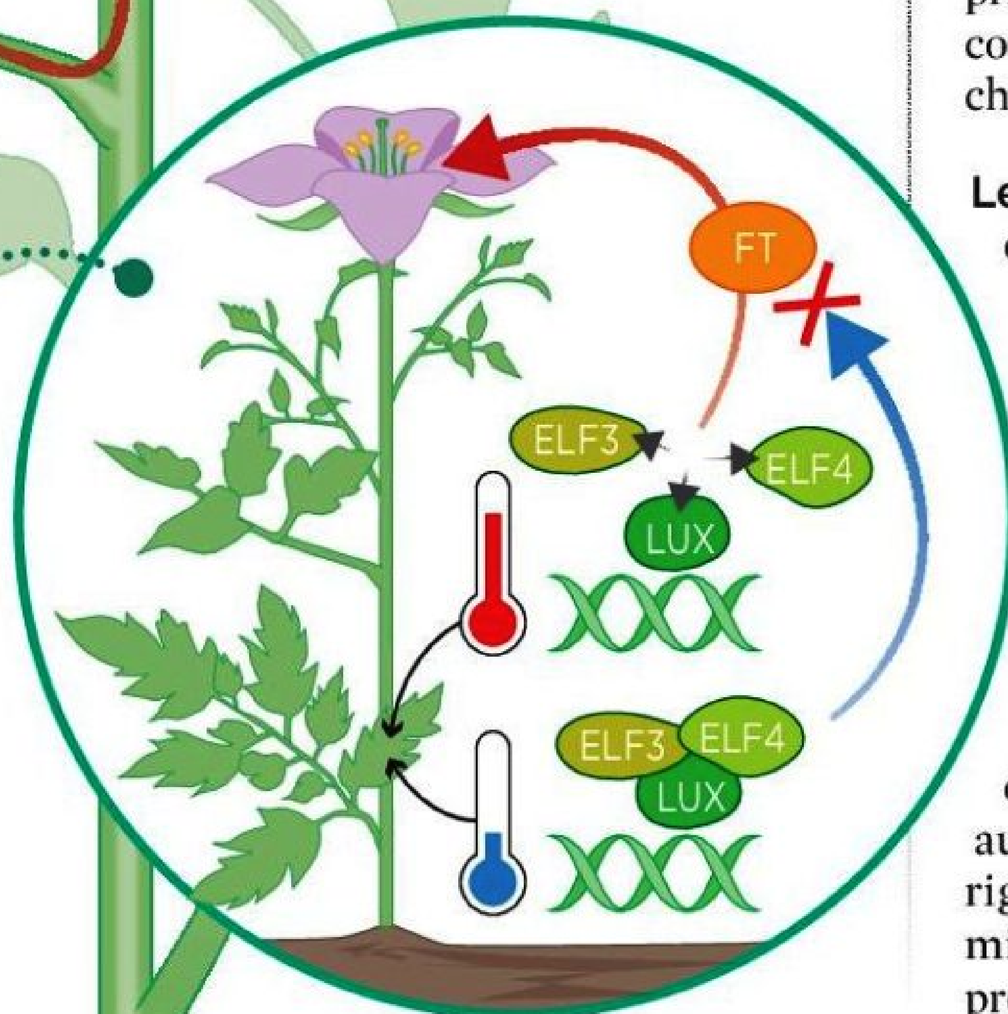
Une équipe de chercheurs identifie trois classes de gènes (A, B, C) qui commandent la formation des sépales, des pétales, des étamines et des carpelles.



CO

2004 : une horloge interne

Des chercheurs déterminent les gènes et protéines commandant l'initiation florale et comprennent l'importance de la longueur du jour : le cycle sur 24 h de la protéine CONSTANS (CO) est mis en exergue. L'alternance du jour et de la nuit fait osciller cette protéine et constitue une véritable horloge circadienne.



2020 : le thermomètre de la plante

Des chercheurs du Laboratoire de physiologie cellulaire et végétale de Grenoble identifient le rôle clé de la protéine ELF3 qui fait partie de l'*evening complex*, un ensemble de trois protéines fixées sur l'ADN intervenant dans la croissance et la floraison des plantes en fonction de la température extérieure. Quand cette dernière est favorable, ELF3 induit le détachement de l'ensemble de l'*evening complex* de l'ADN et laisse agir le florigène (FT), dont le niveau va monter, accélérant ainsi la floraison.

BRUNO BOURGEOIS

nous met sur la piste des gènes responsables des différentes étapes de la formation des fleurs. » Le pétunia et la gueule-de-loup ont ainsi servi de « fleurs de laboratoire » avant d'être supplantées dans les années 1990 par *Arabidopsis thalania* dotée d'un petit génome et de seulement cinq chromosomes. La découverte du rôle de la « protéine de la température » (ELF3) s'inscrit donc dans une longue lignée d'investigations. En 1991, un article de *Nature* titré « La guerre des couronnes » avait décrit pour la première fois comment trois classes de gènes (A, B, C) commandaient la formation des sépales, des pétales, des étamines et des carpelles en forme de couronne. Puis en 2004, les chercheurs ont déterminé les gènes et protéines commandant l'initiation florale et compris l'importance de la longueur du jour : le cycle sur vingt-quatre heures de la protéine CONSTANS est mis en exergue. Celle-ci constitue une véritable horloge circadienne qui donne à la fleur l'heure et le moment de la saison, lui permettant de savoir si elle est dans une période de jour long ou court *(voir l'infographie ci-contre)*. Quand les jours allongent, les fleurs de printemps sortent, quand ils raccourcissent… c'est le moment du chrysanthème.

Le combat de l'architecte et du gardien de la tige

Mais les scientifiques n'étaient pas au bout de leur surprise ! Ils décryptent le long combat que se livrent « l'architecte » et le « gardien de la tige ». Le premier, composé des protéines LEAFY, ordonne l'emplacement des différents organes de la fleur sous l'effet d'une autre protéine puissante, le florigène ; le second, appelé Terminal Flower 1 (TF1), est une protéine qui empêche justement



Les conifères ont des gènes similaires aux plantes à fleurs, ce qui pourrait indiquer un ancêtre commun.

ÉVOLUTION

La fin de « l'abominable mystère »

Et si « l'abominable mystère » qui entoure l'apparition des fleurs sur Terre était enfin résolu? Dans ses observations de plantes fossiles, Charles Darwin — à l'origine de cette expression — avait remarqué un gouffre temporel entre l'apparition des gymnospermes (la famille des conifères) voilà 300 millions d'années et celle des premières plantes à fleurs (les angiospermes) il y a 100 millions d'années. Aucun fossile ne permettant de relier les uns aux autres. Les fleurs étaient-elles arrivées sur Terre spontanément, au mépris des lois de l'évolution? Comment trouver une filiation entre des plantes protégeant leurs graines dans des cônes écaillés, comme les pommes de pin, et l'ordonnancement en couronne des fleurs? Un premier travail mené en 2017 par l'Inrae et l'université de Clermont-Ferrand a comparé les génomes des différentes plantes à fleurs séquencées pour y retrouver les gènes communs et calculer leur antériorité. Résultat : l'ancêtre commun des plantes à fleurs a émergé il y a... 214 millions d'années. Le fossé est donc moins grand que ce que pensait Darwin. Mais le décryptage de génomes de conifères comme le sapin blanc en 2019 (15 fois plus importants que le génome humain) a révélé des gènes ressemblant à celui qui constitue « l'architecte » des fleurs. « *Il semble donc que les plantes sans fleurs avaient déjà les outils et les compétences pour bâtir la fleur*, assure François Parcy, chercheur au laboratoire de physiologie cellulaire et végétale de Grenoble (CNRS/CEA). *Il a fallu un patient travail de sélection naturelle pour que celle-ci émerge.* » Il reste à consolider cette piste et dresser le portrait de l'ancêtre commun des plantes à cônes et des plantes à fleurs.

la floraison. C'est là qu'intervient l'arbitre de l'affrontement, ELF3. En décrochant l'*evening complex* de l'ADN grâce à sa sensibilité à la température, ELF3 inhibe le gardien de la tige laissant ainsi libre cours à la construction de la fleur. Il est le garant de l'adéquation entre la floraison et le climat. Toutes les fleurs vivent ce combat intime... à l'exception d'une : le chou-fleur !
Ces connaissances accumulées permettent de progresser. D'autant que la fleur n'est pas seulement à l'origine des récoltes : elle soutient une industrie. En 2000, Mohamed Bendahmane, chercheur de l'École normale supérieure au laboratoire Reproduction et développement des plantes (Inra-CNRS-Lyon-I), s'intéresse à la formation des pétales, un sujet essentiel pour les fleurs coupées en général, et pour la rose en particulier qui représente 60 % d'un marché qui pèse 3 milliards d'euros en France. En 2018, la publication du génome de la rose à laquelle il a contribué permet de revisiter plusieurs millénaires de domestication de cette fleur. « *La rose d'aujourd'hui est un hybride qui combine la vigueur des espèces européennes avec la floraison plus abondante des variétés chinoises. Dans la nature, elle a cinq pétales... alors que les plus sophistiquées de nos variétés cultivées en ont 250 !* », s'exclame Mohamed Bendahmane, qui ne fait pas mystère des sollicitations des horticulteurs pour créer des variétés qui tiennent plus longtemps dans le vase avec moins d'eau.
La recherche fondamentale sur la floraison n'est donc jamais très loin de l'application industrielle. Zoë Zubieta rêve ainsi d'un grand destin pour son ELF3. « *Cette découverte ouvre la voie à l'utilisation des nouvelles techniques d'édition génétique — telle CRISPR-Cas9 — qui nous permettraient de modifier l'activité d'*evening complex *et de déclencher ou retarder la floraison dans l'intérêt des agriculteurs* », ambitionne la chercheuse. Tout en sachant que si ELF3 a un rôle central, il n'est pas le seul à jouer le thermomètre. « *Chez la très simple arabette des dames, une centaine de protéines au moins jouent un rôle dans la floraison... nous sommes donc loin d'avoir tout compris* », rappelle François Parcy. Les fleurs vont garder encore longtemps une part de mystère. ■

POUR EN SAVOIR PLUS

L'Histoire secrète des fleurs, François Parcy, éditions Humensis, 240 p., 17 €

Fessenheim mise en sommeil avant démantèlement

Le second réacteur de la doyenne des centrales nucléaires françaises sera éteint fin juin. Commencera alors un long travail de décontamination et de démontage. Un gigantesque défi.

Le deuxième et dernier réacteur de la centrale nucléaire de Fessenheim (Haut-Rhin) sera « débranché » le 30 juin. Quatre mois plus tôt, le réacteur nº 1 a connu le même sort. Une décision politique, prise dans le cadre de la transition énergétique (*voir contexte*), mais en aucun cas une fermeture anticipée pour la doyenne des centrales françaises. Certes, la centrale de Fessenheim produit encore de l'électricité et ses réacteurs « *sont en très bon état* » selon EDF. Mais mise en service en 1977, située sur une zone sismique et réputée inondable, elle a déjà dépassé quarante ans... et part ainsi à la retraite. Elle n'aura donc pas à se soumettre à une quatrième visite décennale ni à se voir adjoindre des diesels d'ultime secours, comme exigé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) pour les autres centrales à la suite de la catastrophe de Fukushima au Japon en 2011. Car prolonger l'activité de Fessenheim dix ou vingt ans encore aurait exigé de lourds investissements et des travaux complexes... tels que ceux lancés à la centrale du Tricastin (Drôme), soit 250 millions d'euros au minimum. EDF espérant avec cette dernière faire la démonstration que les centrales françaises peuvent largement vivre soixante ans, comme c'est le cas de celles des États-Unis.

CONTEXTE

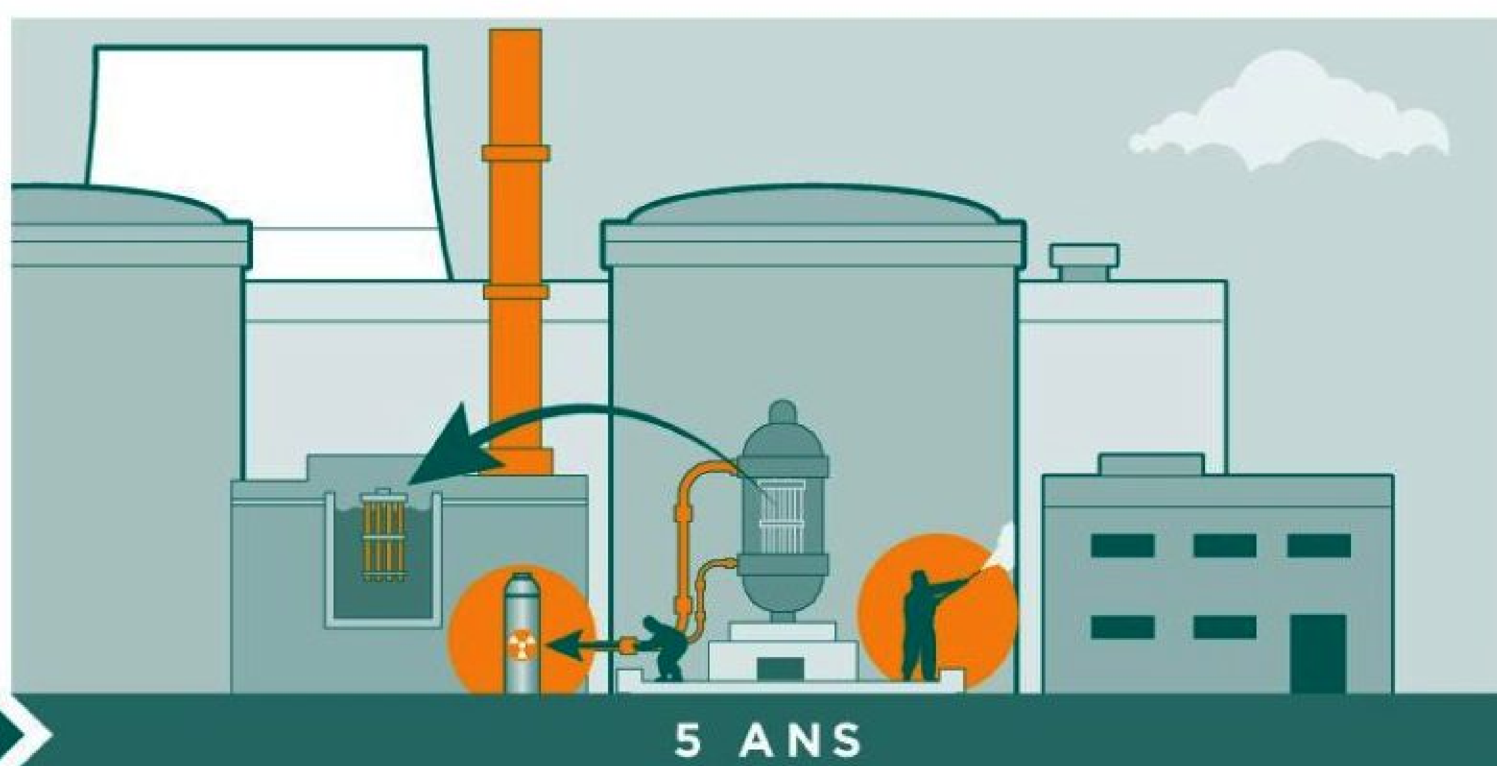
Le décret de la nouvelle programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) pour les périodes 2019-2023 et 2024-2028, paru le 23 avril 2020, fixe des trajectoires et objectifs d'efficacité, de capacité et de coûts production pour chaque énergie. S'il acte la fermeture de 14 réacteurs nucléaires d'ici à 2035, dont Fessenheim est la tête de pont, la présence de l'atome (50 %) dans le mix énergétique n'est pas remise en cause.

Le seul site nucléaire à fermer en France

L'arrêt de la centrale alsacienne ne signe pas, en effet, la fin de l'atome dans l'Hexagone qui compte 19 centrales et 58 réacteurs en activité. Ô combien symbolique, Fessenheim sera d'ailleurs le seul site à fermer ! Car si l'arrêt de 14 autres réacteurs est bien prévu, afin d'atteindre l'objectif de réduction à 50 % de la part du nucléaire dans la production d'électricité en France d'ici à 2035, ils sont répartis dans sept cen-

Objectif 2040





Mise à l'arrêt définitive

▸ Après l'arrêt de réacteur nº 1 en février, le deuxième réacteur sera débranché le 30 juin. EDF déposera cet été un dossier de démantèlement auprès du gouvernement, cette opération ne pouvant démarrer qu'après la publication d'un décret.

Traitement des combustibles

▸ Les équipes d'exploitation et de maintenance déchargeront le cœur, évacueront le combustible (refroidi dans des piscines puis conditionné), vidangeront les circuits. Les assemblages combustibles seront évacués vers le centre de la Hague dès cette année, Fessenheim devant en être totalement expurgée d'ici à 2023.



Implantée en bordure du Grand Canal d'Alsace, la centrale de Fessenheim a été mise en service en 1977. Prolonger son activité de dix ou vingt ans aurait nécessité de lourds investissements et des travaux complexes.

trales dont la cessation totale d'activité n'est pas prévue. L'arrêt de Fessenheim passe d'ailleurs mal chez EDF. Interrogé, l'électricien affirme vivre « *un moment douloureux pour les équipes sur lequel nous ne prenons pas la parole pour le moment* ». Douloureux émotionnellement, mais aussi financièrement... pour l'État. Il lui en coûtera 400 millions d'euros pour indemniser l'opérateur. À quoi s'ajoutera certainement une compensation de son « *manque à gagner* » — toujours en négociation — et 32 millions d'euros sur dix ans pour « *accompagner* » le territoire. Une facture en forme d'investissement ? « *Fessenheim va servir de modèle dans les sites français touchés par la fermeture des quatre dernières centrales à charbon* » d'ici à 2026, assure le syndicaliste Philippe Page Le Merour. À savoir Le Havre (Normandie), Saint-Avold (Moselle), Gardanne (Bouches-du-Rhône) et Cordemais (Loire-Atlantique). « *Avec les autres acteurs du Haut-Rhin, nous avons suivi l'ensemble des salariés d'EDF et des entreprises prestataires, en prévoyant pour chacun d'eux la formalisation d'un nouveau parcours professionnel au sein de l'entreprise et au-delà* », fait savoir l'opérateur. Surtout, EDF pourrait utiliser le site pour recycler les déchets métalliques de l'usine Georges-Besse d'Orano implantée au Tricastin mais aussi ceux issus du démantèlement même de Fessenheim et, demain, d'autres réacteurs en France, voire en Europe. « *De quoi réduire de l'ordre de 40 % les déchets radioactifs issus des démantèlements* », assure la communication d'EDF. L'enjeu n'est ainsi rien de moins que de développer une seconde filière d'avenir pour le nucléaire français.

L'ASN a demandé à EDF des compléments d'information

Comment le démantèlement sera-t-il mené à bien ? Selon EDF, le désossage des deux réacteurs se déroulera en quinze ans pour un coût de 350 à 500 millions d'euros chacun. Un calendrier technique et juridique a déjà été établi et soumis à l'ASN *(voir l'infographie ci-dessous)*. Mais « *le niveau de détail du plan est insuffisant, compte tenu du délai très proche de l'arrêt définitif des réacteurs* », a jugé le gendarme nucléaire en février qui a exigé une révision de la copie. « *Les demandes de complément concernent la justification du scénario de démantèlement et de ses opérations préparatoires, l'état des équipements qui seront employés pour les opérations de démantèlement, ainsi que la gestion des déchets.* » L'ASN réclame encore un renforcement du pilotage du projet, « *une amélioration* ▶



Démantèlement total

▸ Les équipements et bâtiments seront démontés à l'exception du réacteur qui attendra encore quelques années avant d'être démoli. La cuve et les tuyaux seront alors découpés, les derniers matériaux et équipements radioactifs évacués. Seul 0,1 % des déchets produits sera enfoui à Bure (Meuse), 99,99 % étant acheminés vers des centres spécialisés.



Réhabilitation du site

▸ Le site sera totalement assaini pour éliminer toute trace de radioactivité. Il pourrait alors accueillir une usine de traitements des déchets métalliques, voire un centre de formation au démantèlement.


ENRICO SALVADORI/PHOTO12.COM

La mise en pièces de la centrale de Greifswald (Allemagne), commencée en 1995, devrait se terminer en 2028.

DÉMANTÈLEMENT

Italie, Allemagne : deux politiques très différentes

En Italie, c'est une centrale dormante qu'il a fallu réveiller, en 2012, après trente-quatre années de surveillance, pour démarrer son démantèlement. La minuscule Garigliano, en Campanie, dotée d'un seul réacteur à eau bouillante de 150 mégawatts, n'a produit d'électricité qu'entre 1964 et 1978 puis a fermé pour des raisons de sécurité et de rentabilité avant même que le pays ne décide, en 1987, de sortir du nucléaire suit à l'accident de Tchernobyl (Ukraine). Les combustibles ont été retirés du cœur dans les années 2000, envoyés dans les usines de la Hague (France) et Sellafield (Royaume-Uni) pour être retraités. Puis il a fallu *« restaurer le système électrique, refaire des circuits de ventilation pour opérer dans les bâtiments, installer des systèmes informatiques de capteurs et de surveillance et surtout retrouver le personnel (souvent retraité) qui savait comment elle fonctionnait »*, explique Maio Valentino, responsable de la centrale. L'opération devrait durer vingt-trois ans, auxquels s'ajouteront dix ans de surveillance, pour un coût de 400 millions d'euros. Contrairement à l'Italie, l'Allemagne a fait le choix de démanteler la première centrale arrêtée au plus vite après sa fermeture. *« Nous réalisons ainsi jusqu'à 20 % d'économie par rapport à nos prévisions »*, assure Henry Cordes, le patron d'ENW, entreprise fédérale chargée de la déconstruction et du traitement des déchets radioactifs. C'est la réunification de L'Allemagne qui a sonné prématurément le glas de la centrale de Greifswald, installée sur 20 hectares au bord de la Baltique : pas question pour la République fédérale de laisser en service ses cinq réacteurs soviétiques à eau pressurisée de type VVR 430-220. Rêvée comme la plus grosse centrale d'Europe, elle n'a donc produit de l'électricité qu'entre 1973 et 1990. Greifswald est méthodiquement mise en pièces depuis 1995, mais les opérateurs, qui espéraient en avoir terminé en 2012, tablent aujourd'hui sur 2028. Le démantèlement aura nécessité 33 ans et coûtera de 750 à 800 millions d'euros par réacteur, de la déconstruction au stockage des déchets en passant par la décontamination du moindre boulon. Berlin a renoncé au nucléaire à la suite de la catastrophe de Fukushima de 2011, 29 réacteurs sont déjà à l'arrêt, les huit derniers fermeront en 2022.

de l'organisation pour établir et valider les décisions structurantes pour le scénario de démantèlement, à partir d'hypothèses justifiées et formalisées ». EDF avait jusqu'à avril pour mettre son plan à jour… délai repoussé jusqu'à cet été en raison de la pandémie de Covid-19.

L'expérience de la centrale de Chooz A mise à profit

Mais le chantier ne devrait pas poser de problèmes majeurs, selon Thierry Charles, directeur général adjoint, chargé de la sûreté nucléaire à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). *« EDF bénéficie déjà de l'expérience du démantèlement en cours de la centrale de Chooz A, dans les Ardennes »*, explique ce dernier. Un test crucial, qui semble bien se dérouler. Certes, Chooz A est une petite centrale de 300 mégawatts, semi-enterrée, alors que Fessenheim a deux réacteurs de 900 MW chacun situés en surface. *« Le principe reste le même : évacuer les combustibles et les faire refroidir, mais aussi le gaz hydrogène qui sert aux alternateurs de courant électrique, démanteler les installations, découper la cuve… »*, poursuit l'expert. Quant aux déchets, seulement 0,1 % d'entre eux aura pour destination le site d'enfouissement de Bure (Meuse), la très grande majorité partant pour les deux centres de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) implantés dans l'Aube, le Centre industriel de regroupement d'entreposage et de stockage (Cires), réservé aux déchets de très faible activité radioactive, et le Centre de stockage de l'Aube (CSA) pour les déchets radioactifs de faible et moyenne activité. Fessenheim devrait en outre faire l'objet d'examens de sûreté, même en cours de démantèlement. Thierry Charles l'assure : *« La vieille centrale sera marquée à la culotte. »* ■ **Rachel Mulot**

@RachelFleaux

Les incroyables pouvoirs des ailes des cigales

Véritables coques protectrices, les ailes de l'insecte ont des propriétés hydrophobes, autonettoyantes et antibactériennes.



▲ **Les ailes de la cigale** sont tapissées de minuscules rugosités de quelques centaines de nanomètres qui leur confèrent leurs étonnantes propriétés.

PIOTR NASKRECKI/MINDEN PICTURES/BIOSPHOTO

Les cigales ont un goût peu prononcé pour le vol. Elles ne vagabondent pas à la manière des abeilles ou des libellules et privilégient les trajets directs pour atteindre les branches dont elles sucent la sève et où elles « chantent ». Leurs ailes remplissent cependant bien d'autres fonctions. Principalement celle de protection : les gouttes de pluie glissent dessus sans jamais les mouiller, emportant au passage toutes les poussières. Elles neutralisent aussi les microbes qui s'y déposent, empêchant tout film bactérien de proliférer. « *Ces propriétés hydrophobes, autonettoyantes et antibactériennes proviennent de minuscules rugosités qui les tapissent*, explique Timothée Mouterde, physicien à l'université de Tokyo (Japon) qui étudie ces architectures depuis une demi-douzaine d'années. *De forme conique, ces reliefs ne mesurent que quelques centaines de nanomètres de haut et leurs pointes quelques nanomètres seulement.* »

Si ces structures sont connues et étudiées depuis longtemps, les mécanismes produisant des fonctions aussi diverses conservaient encore bien des mystères. Mais deux nouvelles études permettent de mieux comprendre comment fonctionnent ces ailes, véritables « couteaux suisses » de la nature. La première, réalisée à l'université de l'Illinois à Urbana-Champaign (États-Unis), dévoile l'intimité chimique des nanocônes. Grâce à une technique d'extraction utilisant des micro-ondes, les chercheurs américains ont pu en effet les « effeuiller » couche par couche. Tandis que l'intérieur contient des molécules riches en oxygène comme des alcools et des esters, la partie superficielle est constituée d'acides gras et surtout d'hydrocarbures très peu réactifs chimiquement. « *Ces longues chaînes carbonées n'ont, en particulier, aucune affinité avec l'eau et la repoussent*, explique Timothée Mouterde. *Et la géométrie des rugosités amplifie cette propriété. Seul leur sommet est en contact avec les gouttes de pluie, qui dévalent les ailes des cigales comme si elles se trouvaient sur un coussin d'air.* »

Un réseau de barbelés contre les bactéries

Menée à l'université de Bristol (Royaume-Uni), la seconde étude s'est concentrée sur l'effet bactéricide. Les chercheurs pensaient, jusqu'à présent, que les nanocônes éventraient, tels des pics, les parois des micro-organismes, provoquant ainsi une destruction cellulaire. Mais en observant ces derniers par microscopie électronique et en analysant les modifications de leur métabolisme, ils ont découvert qu'un autre processus était à l'œuvre. Ils ont constaté que les bactéries n'étaient pas nécessairement détruites mais empêtrées comme dans un réseau de barbelés. Ce piège engendre un stress oxydatif qui libère alors des myriades de protéines... empêchant les bactéries de se diviser et de proliférer ! De quoi inspirer les scientifiques en quête de nouveaux matériaux nano-structurées. Selon Timothée Mouterde, « *ils pourraient servir à mettre au point des surfaces super-hydrophobes et autonettoyantes, pour certains systèmes optiques par exemple, mais aussi des revêtements antibactériens pour des applications médicales.* » ■

Franck Daninos @fdaninos

INTERFACE CERVEAU-MACHINE Système de liaison directe entre un cerveau et un ordinateur, permettant à un individu d'effectuer des tâches sans passer par l'action des nerfs périphériques et des muscles.

EEG Électroencéphalogramme, c'est l'enregistrement de l'activité des neurones du cortex (couche externe recouvrant les hémisphères du cerveau), réalisé avec des électrodes posées sur le cuir chevelu.

ECOG Électrocorticogramme, c'est l'enregistrement de l'activité des neurones du cortex, réalisé par des électrodes posées directement sur le cerveau.

Une IA lit la parole dans le cerveau

Des chercheurs américains sont parvenus, grâce à une intelligence artificielle, à décoder des phrases entières à partir des signaux neuronaux émis en temps réel. Un espoir pour des personnes paralysées privées de parole. Mais cette ébauche de neuroprothèse soulève des réserves éthiques.

Par Elena Sender @Elenasender

Nous sommes en 2030. Sur son lit d'hôpital, une patiente, dans l'incapacité de s'exprimer depuis un accident vasculaire cérébral (AVC), pense : *« J'ai soif. Pourrais-je avoir de l'eau ? »* Aussitôt, l'ordinateur relié aux implants cérébraux traduit sa pensée en mots et une voix synthétique alerte les soignants. Équipés du même système de traduction, d'autres patients, paralysés par une sclérose latérale amyotrophique (maladie de Charcot) ou un syndrome d'enfermement (*locked-in syndrome*), ont retrouvé la capacité de s'exprimer...

S'il n'existe pas encore, ce « décodeur de paroles » est aujourd'hui en bonne voie. L'équipe de Joseph Makin, David Moses et Edward Chang, de l'université de Californie à San Francisco (USCF) aux États-Unis, financée par Facebook, vient en effet de franchir une étape cruciale dans sa conception. Le système d'intelligence artificielle (IA) qu'ils ont mis au point décode déjà directement des phrases du cerveau, en temps réel, avec 97 % de justesse. Un record ! comme les chercheurs l'ont rapporté en mars 2020 dans une étude publiée dans la revue *Nature Neuroscience*.

Pour l'expérience, quatre patientes américaines — déjà équipées d'électrodes dans le cadre de recherches sur les foyers épileptiques — se sont portées volontaires. La première phase a consisté à entraîner un algorithme, connecté aux électrodes. Pour ce faire, les patientes ont répété plusieurs fois à haute voix des séries de 30 à 50 phrases, contenant jusqu'à 250 mots différents, pendant une quarantaine de minutes. Cela afin que le système apprenne à associer l'activité de leur cortex (électrocorticogramme ou ECoG) à des probabilités de phrases. Puis, les volontaires ont pioché au hasard des phrases que l'IA a dû aussitôt traduire en fonction de l'activité du cerveau. *« Le but de notre étude était de décoder la parole à partir des signaux neuronaux*, explique Joseph Makin, coauteur des travaux. *Et nous sommes parvenus à atteindre un taux d'erreur d'à peine 3 % sur un corpus limité de cinquante phrases. »* Du jamais vu ! Un record atteint pour l'heure uniquement lorsque la phrase est articulée et exprimée à haute voix. Les chercheurs ayant bon espoir de parvenir à identifier des phrases uniquement lorsqu'elles seront prononcées silencieusement.

Le système nécessite l'implant invasif d'une neuroprothèse — une grille de centaines d'électrodes réceptrices — posée sur le cortex. Une première inter- ▶

CONTEXTE

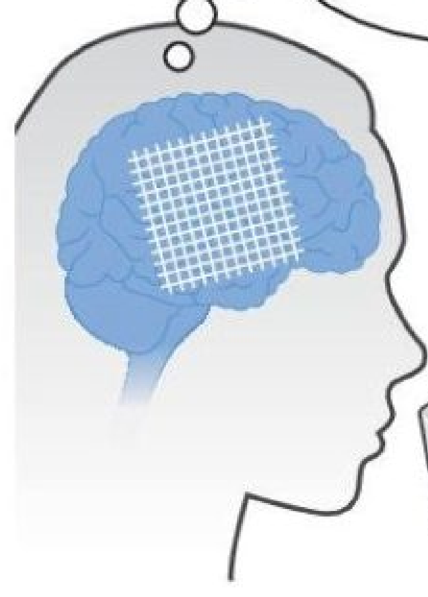
Jamais la course à l'implant cérébral n'a été aussi disputée. Alors que Facebook finance des projets de neuroprothèses pour décoder la parole dans le cerveau *(lire ci-contre)*, l'Américain Elon Musk investit 150 millions de dollars pour mettre au point son dispositif Neuralink qui devait faire l'objet d'un essai clinique avant fin 2020. Quant au projet BrainCom, financé par la Commission européenne à hauteur de 8,3 millions d'euros sur un total de 8,6 millions, il vise à décrypter les circuits neuronaux de la parole. Un espoir pour les patients dans l'incapacité de s'exprimer. Et pour certains, l'idée d'en équiper un jour des humains bien portants.



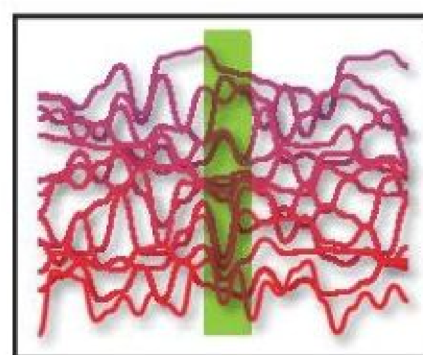
NADIA RABHI POUR SCIENCES ET AVENIR

« DÉCODEUR DE PAROLE »

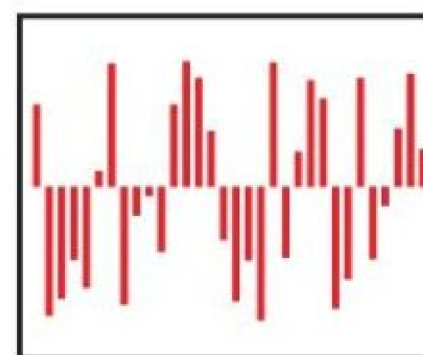
Des signaux neuronaux au discours parlé



La neuroprothèse enregistre les signaux neuronaux dans le cerveau qui pense une phrase.



Les enregistrements sont transmis à un ordinateur sous forme d'électrocorticogrammes (ECoG).

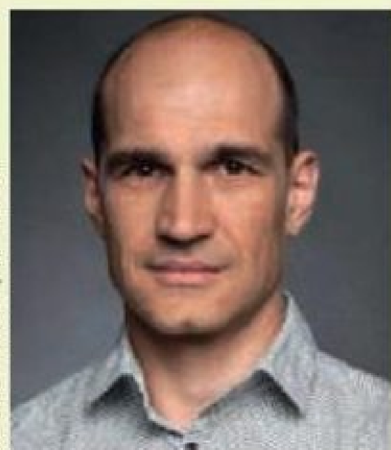


Une IA les traduit en mouvements articulatoires probables, comme si les mots avaient été prononcés.



Les mouvements articulatoires sont à leur tour traduits en phrase.

BRUNO BOURGEOIS


ÉRIC FOURNERET/WIKIPEDIA

INTERVIEW

ÉRIC FOURNERET

PHILOSOPHE, LABORATOIRE NEUROTECHNOLOGIE ET DYNAMIQUE DES RÉSEAUX À L'INSERM BRAIN-TECH, UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

« L'avènement de l'humain compensé »

Est-ce qu'un humain qui dialogue grâce à une interface cerveau-machine est un humain comme les autres ?

Aujourd'hui, outre l'humain « normal » — c'est-à-dire sans implant — on ne distingue que deux catégories : l'humain « réparé », chez qui une fonction perdue a été remplacée, et l'humain « augmenté », qui a acquis une fonction nouvelle ou dont une capacité existante a été renforcée. Or, les patients équipés d'une neuroprothèse de décodage de la parole pourraient appartenir à une troisième catégorie : ni réparé ni augmenté, mais « compensé ». Seront-ils socialement reconnus comme des personnes à part entière ou comme des « cyborgs » ? Cette réflexion éthique, en cours à l'Unesco par exemple, éclaire la problématique.

Comment garantir également au patient un contrôle de sa parole artificielle ?

C'est tout l'enjeu ! Il est indispensable, en effet, que le patient garde le contrôle absolu de la parole qu'il veut ou non externaliser, et sur le moment où il souhaite le faire ! C'est dès la conception des implants que cette réflexion éthique doit aider les neuroscientifiques à réfléchir aux valeurs à privilégier, l'autonomie de la personne par exemple. Car lorsque le dispositif artificiel sera disponible, il sera trop tard. C'est ce qui s'appelle l'éthique par la conception *(ethics by design)*.

Que faire si la machine traduit mal ce qui est exprimé ?

Que vaut, en effet, la parole externalisée quand le patient ne peut pas la valider oralement ? Imaginez les conséquences si on demande par exemple à un patient dans l'impossibilité de communiquer de façon classique s'il désire que l'on arrête les soins. La justification de sa réponse appelle une explication subtile, argumentée, complexe, qui est tout sauf binaire. C'est pourquoi l'authenticité de la signification est un enjeu majeur et la notion de paramétrage technique fondamentale. Le rôle des philosophes ou des éthiciens est donc nécessaire sur le terrain, aux côtés des neuroscientifiques. Mais cette démarche est encore rarissime en neurotechnologie, même à l'étranger. **Propos recueillis par E. S.**



MINDAFFECT

Le dispositif MindAffect enregistre l'activité du cortex visuel de la personne lorsque celle-ci regarde des lettres auxquelles des codes ont été associés pour les retranscrire plus rapidement.

face « cerveau-machine » de ce type dédiée à la parole avait déjà été implantée en 2007 chez un patient atteint du syndrome d'enfermement par Frank Guenther, de l'université de Boston (États-Unis), et le neurologue Philip Kennedy. Ils étaient parvenus à décoder des voyelles. *« La première question est de déterminer le site d'implantation*, détaille Blaise Yvert, directeur de l'équipe Neurotechnologie et dynamique des réseaux au laboratoire Inserm BrainTech de l'université Grenoble Alpes, qui coordonne pour la France le projet européen BrainCom pour développer des neuroprothèses de décodage de la parole. *En effet, il n'existe pas un "centre de la parole" dans le cerveau. Les aires du langage couvrent les aires temporales (auditives), celles de Wernicke (sémantique, compréhension) et le lobe frontal avec l'aire de Broca et le cortex moteur et prémoteur pour la production de langage. »* À chaque équipe, ses préférences !

Penser un mot active un mouvement articulatoire

« À l'instar de l'UCSF, nous avons fait le choix d'implanter les électrodes sur les aires motrices, qui détectent l'activité des mouvements articulatoires de la parole », expose Blaise Yvert. Les électrodes enregistrent alors l'ECoG de la zone motrice qui donne des ordres aux mouvements articulatoires de la langue, des lèvres, du larynx, de la mâchoire et du voile du palais (velum) lors de la prononciation

DISPOSITIFS NON INVASIFS

Des ondes cérébrales pour épeler les mots

Si les aides à la parole futuristes nécessitent l'implantation d'électrodes dans le cerveau, d'autres solutions, non invasives, utilisent déjà l'électroencéphalogramme (EEG, *voir lexique p. 56*). *« La mesure est plus grossière que les implants intracérébraux, certes, mais plus facile à mettre en œuvre »*, explique Fabien Lotte, directeur de recherche au centre Inria de Bordeaux. Certaines interfaces cerveau-machine utilisent l'EEG pour aider les utilisateurs à épeler des mots. *« L'une des techniques phares vise à détecter l'onde cérébrale P300, qui apparaît 300 millisecondes après un stimulus rare et attendu »*, poursuit Fabien Lotte. Si une personne regarde un alphabet défiler sur un écran, son cerveau émettra l'onde P300 lorsque la lettre cherchée apparaîtra et enverra l'information à l'algorithme qui écrit sous la dictée. L'inconvénient du système c'est le temps de détection, 12 secondes par lettre. La start-up néerlandaise MindAffect a peut-être trouvé la parade. Elle consiste à enregistrer l'activité du cortex visuel lorsque la personne regarde sur un écran les lettres de l'alphabet qui clignotent chacune selon un code particulier. *« En détectant le code que le cortex visuel voit, le système reconnaît la lettre correspondante,* explique Ivo de la Rive Box, fondateur et directeur de MindAffect. *Après une minute d'entraînement seulement, le dispositif peut reconnaître chaque lettre en moins de 2 secondes ! »* Fabien Lotte étudie désormais la manière de bien apprendre à se servir de ces systèmes d'expression d'un genre nouveau. C'est le projet Brain Conquest (conquête du cerveau) de l'ERC (European Research Council). Tout un programme !

de phonèmes. *« Notre objectif n'est pas de décoder les "pensées" mais le discours parlé, que celui-ci soit prononcé à haute voix ou juste mentalement*, précise Joseph Makin. *Notre hypothèse est que les personnes qui sont victimes du syndrome d'enfermement, par exemple, peuvent toujours envoyer les commandes appropriées aux articulateurs de la parole (lèvres, langue, mâchoire), même si ces commandes cérébrales n'atteignent plus leur cible. Et notre étude montre que nous parvenons bien à les décoder. »* Autrement dit, penser une phrase et la prononcer effectivement déclencheraient des activités corticales comparables. *« Cela a été déjà démontré dans le cas de commandes de mouvements moteurs du bras chez des patients paralysés »*, confirme Blaise Yvert. Ces ECoG sont ensuite convertis, par les algorithmes, en mouvements articulatoires probables, qui sont eux-mêmes traduits en phrases potentielles *(voir l'infographie p. 57)*. *« Notre travail est ce que l'on appelle une démonstration de faisabilité* [proof of concept], poursuit Joseph Makin. *Nous avons montré quel type de décodage était possible. Nous devons à présent nous intéresser à des patients qui ne peuvent plus parler et qui voudront bien se porter volontaires pour qu'on leur implante ces électrodes à plus long terme. »* L'équipe entend également augmenter le nombre de phrases-modèles et assouplir le système. *« Certes, l'algorithme parvient à prédire en direct des chaînes de mots et les chercheurs ont montré que celles-ci produisent avec une très bonne justesse les phrases attendues*, commente Blaise Yvert. *Mais le système est très contraint. C'est-à-dire qu'il n'est pas sûr qu'il reconnaisse des phrases dont les mots sont différents ou pas dans le même ordre que ceux des phrases apprises au départ par l'IA. »*

Des systèmes plébiscités par les géants de l'Internet

Le système idéal serait de pouvoir décoder n'importe quelle phrase *« avec des milliers de mots dans n'importe quel ordre »*, souligne Blaise Yvert. On en est encore loin. Autre difficulté : comment entraîner le système lorsqu'il sera testé chez des patients qui ne peuvent pas parler ? Sans oublier les questions éthiques. *« »Comment faire en sorte que la personne équipée garde son autonomie ?* s'interroge ainsi Hannah Maslen, philosophe à l'université d'Oxford (Royaume-Uni) qui réfléchit avec Éric Fourneret *(lire l'interview p. 58)* à l'avenir de ces systèmes, au sein de BrainCom. *Il faut s'assurer que le dispositif reproduit bien ce que la personne veut dire et se tait quand elle le souhaite. Ces questions fondamentales doivent être résolues dès la conception du système. »* Enfin, ces neuroprothèses, plébiscitées par des géants de l'Internet comme Facebook, n'équiperont-elles pas un jour des personnes valides pour « augmenter » leurs capacités ? *« Personnellement, je rejette cette idée »*, assure Joseph Makin. Certains risquent de ne pas faire de même. ■


UNIVERSITY OF OXFORD

« Comment être sûr que la machine reproduit bien ce que la personne veut dire et se tait lorsqu'elle le souhaite ? »

Hannah Maslen, philosophe à l'université d'Oxford (Royaume-Uni), spécialiste en éthique

Les tartinades illuminent l'apéro

Houmous, guacamole... les préparations à tartiner remplacent de plus en plus les chips et les cacahuètes. Avec de réels avantages nutritionnels.

Avant un repas en famille ou entre amis — réels ou virtuels —, l'apéritif (du latin *apertivus*, « qui ouvre (l'appétit) ») reste un rendez-vous incontournable pour bon nombre de Français, avec ou sans confinement. Près d'un sur deux (47 %) s'y adonne au moins une fois par semaine, marquant la séparation entre le (télé)travail et le temps de détente (1). Les Romains déjà savouraient un verre de vin au miel avant le repas, mais ce n'est qu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale que le marché des produits accompagnant les boissons apéritives prend son essor.

En 2018, le secteur a réalisé 2,2 milliards d'euros de chiffre d'affaires, enregistrant une progression de 5 % par rapport à l'année précédente (2). Si les « classiques » (chips, cacahuètes, biscuits salés...) résistent, les « tartinades » (guacamole, houmous, rillettes de poisson...) gagnent du terrain. Plus intéressantes sur le plan nutritionnel, ces dernières peuvent allier bienfaits pour la santé et plaisir. À condition de ne pas en abuser et de déjouer les pièges.



BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

39 millions
Le nombre d'apéritifs par semaine en France, soit en moyenne deux par Français adulte.
(SOURCE : KANTAR WORLDPANEL, 2017.)

À base de légumes, riches en antioxydants

Peu caloriques, à condition de ne pas forcer sur l'huile, le caviar d'aubergines et les produits à base d'artichauts ou de poivrons apportent des fibres alimentaires, utiles pour réguler le transit intestinal et freiner l'assimilation des glucides. Les fibres apportent aussi une sensation rapide de satiété. En plus des vitamines et des minéraux, les légumes contiennent des composés antioxydants, lesquels protégeraient les cellules du vieillissement. Les olives vertes ou noires contiennent un polyphénol intéressant, l'hydroxytyrosol (respectivement 55 mg/100 g et 65 mg/100 g), transformé en alcool homovanillique. Selon des travaux espagnols, des taux élevés dans les urines pourraient être associés à un risque réduit de maladies cardio-vasculaires et de mortalité (3). Attention à la tapenade, assez riche en lipides (23 g/100 g).

ACIDES GRAS MONO-INSATURÉS (AGMI) Acides gras comportant une double liaison entre deux atomes de carbone. Appelés oméga 9, ils sont principalement représentés par l'acide oléique. On les trouve dans les graisses végétales (olive) et les oléagineux.

CHOLESTÉROL LDL Groupe de lipoprotéines produites par le foie dont la fonction est de transporter le cholestérol jusqu'aux tissus. Associé à une augmentation du risque cardio-vasculaire, le cholestérol LDL est souvent considéré comme du « mauvais » cholestérol.

ACIDE ALPHA-LINOLÉNIQUE (ALA) Acide gras dit essentiel car il n'est pas synthétisé par l'organisme. Il doit donc être apporté à l'organisme par l'alimentation.

Du houmous pour ses protéines végétales

Traditionnellement servi en mezzé, le houmous, composé de pois chiches, d'ail, de jus de citron, d'huile d'olive et de tahiné (purée de sésame, aussi appelée tahin, tahini...), est riche en protéines végétales (8,31 g/100 g de pois chiches cuits). Selon une étude menée sur 130 000 personnes suivies pendant trente-deux ans, une augmentation de sa consommation de 3 % réduirait le risque de décès de 10 % et celui de maladies cardio-vasculaires de 12 % (4). Le tahiné fournit de la vitamine E, un antioxydant, et l'ail, de l'allicine, un composé organosulfuré à l'action antibactérienne. Mais le houmous pèse sur la balance (environ 300 kcal/100 g) ! On peut se tourner vers des variantes aux légumes (betterave, carotte rôtie, chou-fleur).

Le guacamole, bon pour le cœur

Cette préparation d'origine mexicaine à base d'avocat et de jus de citron est une source de vitamines E, A et B9 mais aussi de minéraux, dont le potassium et le magnésium (25 mg/100 g, soit près de 10 % de l'apport quotidien conseillé). Riche en lipides, majoritairement des acides gras mono-insaturés, l'avocat protégerait de l'excès de cholestérol LDL (*Low Density Lipoprotein*), lequel contribuerait à la formation de plaques d'athérome et majorerait le risque d'infarctus du myocarde et d'accident vasculaire cérébral. Au terme de cinq semaines, les participants ayant suivi un régime pauvre en graisses mais ayant consommé un avocat par jour avaient des taux de LDL plus faibles que les participants ayant simplement suivi un régime pauvre en graisses (5).

Des rillettes de poisson à la place du porc

Sardine, maquereau, thon, saumon apportent deux types d'acides gras polyinsaturés : l'eicosapentaénoïque (EPA) et le docosahexaénoïque (DHA), dont le précurseur est l'acide alpha-linolénique (ALA). Ces oméga 3, constituants des membranes cellulaires, interviendraient dans la prévention des maladies cardio-vasculaires et la réduction de la mortalité par infarctus du myocarde (6). Ils pourraient également réduire le risque de démence, principalement sous l'action de la DHA qui joue un rôle essentiel dans le fonctionnement du cerveau (7). Malgré leur teneur en lipides (18 g), les rillettes de poisson sont moins caloriques que celles de porc (250 kcal/100 g pour les rillettes de saumon contre 522 kcal/100 g pour les rillettes de Tours). Toutefois, attention au tarama, spécialité culinaire grecque et turque à base d'œufs de poisson salés (cabillaud ou mulet) : il affiche 535 kcal/100 g !

Les préparer « maison »

Sans surprise, les tartinades industrielles sont souvent trop salées, comme celle à l'artichaut de Monoprix (1,2 g de sel/100 g) ou la tapenade d'olive verte de Puget (2,8 g/100 g). L'Organisation mondiale de la santé (OMS) n'en recommande pas plus de 5 g par jour. Certaines formules contiennent même du sucre comme le guacamole de Old el Paso (3,7 g/100 g) ou le Trio de Poivrons de Bonneterre (6 g, soit l'équivalent d'un morceau). Sans oublier l'ajout d'huile de palme, de colorants (rouge de cochenille pour le tarama) et autres additifs tels les épaississants ou gélifiants. Les préparer soi-même permet de limiter l'apport calorique et de tester des recettes originales (tartinade de champignons, courge butternut, lentilles corail). ■

Sylvie Boistard

AURORE LAVERGNAT Diététicienne-nutritionniste à Audenge (Gironde)

Poursuivre par un repas léger

« On peut limiter la balance calorique des tartinades en les accompagnant de carottes et de concombres crus en bâtonnets à tremper dedans, ou de rondelles de courgettes sur lesquelles étaler la préparation. À la différence des canapés mous tels le pain mie, croquer les légumes encourage à mastiquer et apporte des fibres qui amènent plus rapidement à satiété. Mieux vaut aussi substituer aux chips et blinis industriels de fines tranches de pain complet ou de seigle. L'apéritif devra se poursuivre par un dîner léger, avec au menu, un poisson, une viande blanche, des œufs ou des crustacés accompagnés de 200-250 g de légumes cuits. La part de glucides complexes (céréales, légumineuses) doit aussi être limitée à trois ou quatre cuillères à soupe. »

(1) Ifop, 2017.

(2) Iri, 2018.

(3) Protective effect of homovanillyl alcohol on cardiovascular disease and total mortality: virgin olive oil, wine, and catechol-methylathion, De la Torre R. et al, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2017.

(4) Association of animal and plant protein intake with all-cause and cause-specific mortality, Song M. et al, *JAMA Internal Medicine*, 2016.

(5) A moderate-fat diet with one avocado per day increases plasma antioxidants and decreases the oxidation of small, dense LDL in adults with overweight and obesity: a randomized controlled trial, Wang L. et al, *The Journal of Nutrition*, 2020.

(6) A quantitative analysis of fish consumption and coronary heart disease mortality, Konig A. et al, *American Journal of Preventive Medicine*, 2005.

(7) The pleiotropic effects of omega-3 docosahexaenoic acid and the allsmarks of Alzheimer's disease, Belkouch M. et al, *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2016.

Pierre-Yves Ancel, épidémiologiste

La vigie des prématurés

Le directeur du Centre d'investigation clinique de la maternité Port-Royal, à Paris, étudie attentivement les pratiques afin de faire diminuer la mortalité et les séquelles chez les bébés nés avant terme.

« QUAND ON FAIT DE LA RECHERCHE *en santé publique, on espère toujours que la vue d'ensemble puisse faire évoluer les pratiques cliniques* », confie le Pr Pierre-Yves Ancel. Lui, c'est sur la survie et le suivi des grands prématurés, nés entre le 5e et le 7e mois de grossesse, qu'il exerce ce travail de vigie, au Centre d'investigation clinique de la maternité Port-Royal (hôpital Cochin, Paris). Non comme médecin au pied des couveuses, mais en tant qu'épidémiologiste, pour surveiller les conséquences de cette prématurité sur le développement cognitif, moteur ou cardio-respiratoire des enfants, et évaluer méthodiquement l'efficacité ou la pertinence de telle ou telle pratique.

La cohorte Épipage 2 (Étude épidémiologique sur les petits âges gestationnels) qu'il a créée il y a presque dix ans suit plus de 4400 enfants nés avant terme en France en 2011. Et les nombreux résultats obtenus par son équipe Inserm ÉPOPé lui ont valu le grand prix de la recherche de la Fondation de France en juin de l'année dernière. « *Un travail d'équipe de longue haleine* » qui est en train de transformer la prise en charge des très grands prématurés nés au 5e mois de la grossesse (entre 22 et 25 semaines d'aménorrhée).

BIO EXPRESS

1967 Naissance à Paris.

1998 Doctorat de médecine, université Paris-VI.

2001 Thèse de science en santé publique, université Paris-XI.

2014 Directeur de l'équipe d'Épidémiologie obstétricale, périnatale et pédiatrique (ÉPOPé, Inserm, université Paris-Descartes).

2019 Grand Prix de la recherche de la Fondation de France.

Un premier stage d'interne en pédiatrie qui le marque

« *En comparant nos données à celles d'autres pays, nous avons montré que la survie de ces bébés dépend avant tout de la volonté de les prendre en charge. Ainsi, en France, aucun enfant ne survit à 22-23 semaines, car le risque de handicaps est considéré comme tellement élevé que c'est plutôt un accompagnement palliatif qui est choisi. Pourtant, au Japon, en Suède ou aux États-Unis — pays dans lesquels la pratique de la réanimation est systématique —, les données montrent que 30 à 40 % des nourrissons survivent à cet âge gestationnel, sans développer pour autant plus de handicaps*, détaille le chercheur. *Même à cette extrême limite de la viabilité, être très actif dans les efforts thérapeutiques peut donc être bénéfique.* » Dans le même temps, l'équipe de Pierre-Yves Ancel a montré une très nette amélioration de la survie dans les autres tranches d'âge depuis le début des années 2000, avec une diminution des handicaps à l'âge de 2 ans. « *Ça veut bien dire que nous avons encore un problème à résoudre pour les très grands prématurés.* »

Le parcours de Pierre-Yves Ancel témoigne de son intérêt jamais démenti pour la santé de la mère et de l'enfant. « *Mon premier stage d'interne au service de pédiatrie à Melun, en 1994, a été passionnant, mais très dur. Il m'a motivé pour faire de la recherche en santé publique.* » Le jeune médecin intègre ainsi l'équipe de Gérard Bréart et Monique Kaminski, déjà à Port-Royal, et collabore à l'étude Épipage 1 que ses deux mentors ont lancée. « *Au cours des années 1990, deux traitements se sont répandus, permettant de sauver des bébés entre 22 et 26 semaines d'aménorrhée, pesant moins de 1500 grammes*, raconte le chercheur. *Les pédiatres sont donc venus nous voir pour nous demander d'éclairer les raisons de ce taux de survie.* » Et c'est ainsi que Pierre-Yves Ancel s'est retrouvé, « *du fait du hasard et des rencontres* », au cœur de ce champ de recherche encore neuf qu'était alors l'épidémiologie des grands prématurés.

Hasard vraiment ? Ce Parisien pure souche travaille depuis plus de vingt ans… à l'endroit même où il est né ! « *C'était à la maternité Baudelocque. Elle n'existe plus*


COURTESY PIERRE-YVES ANCEL

sous ce nom mais elle était sur le site de Port-Royal », s'amuse-t-il. Ce fils d'une mère au foyer et d'un père magistrat à la Cour de cassation a grandi près du jardin du Luxembourg avec ses trois frères et n'a jamais cessé d'apprécier la vie culturelle parisienne. *« Mon grand-père était artiste peintre, et c'était aussi la passion de mon père qui nous a transmis ce goût pour l'art. Il nous emmenait au musée du Louvre le dimanche matin, c'était le bonheur ! »* À 53 ans, il partage désormais son temps entre la recherche, ses activités d'enseignement et, quand il le peut, sa passion pour le tennis. *« Je suis un vrai fan ! »*, reconnaît-il, en particulier du Suisse Roger Federer, avec qui il partage d'ailleurs l'élégance d'une silhouette longiligne. *« J'essaie de jouer tous les mardis midi avec mon ami François Goffinet »*, le chef du service de gynécologie-obstétrique de la maternité. Sans oublier de consacrer du temps à ses trois enfants *« même s'ils sont grands maintenant (18, 21 et 26 ans), mais toujours très présents »*, sourit-il.

« Même à l'extrême limite de la viabilité, être très actif dans les efforts thérapeutiques peut être bénéfique »

Pour l'union des obstétriciens, sages-femmes et pédiatres

Aujourd'hui, l'heure est à l'analyse des données recueillies lors de tests médicaux et neuropsychologiques que les enfants d'Épipage 2 ont passés à l'âge de 5 ans afin de poursuivre le travail d'évaluation des pratiques. D'autant que Pierre-Yves Ancel se dit prêt à agir au vu des données recueillies durant toutes ces années. *« Nous avons créé un groupe de travail avec des représentants de toutes les sociétés savantes et des associations de parents qui a abouti à un texte à destination des professionnels pour faire évoluer les pratiques en France. Nous considérons ainsi que l'âge gestationnel ne peut pas être le seul critère conduisant à la prise en charge ou non de l'enfant. »*

Le texte met également l'accent sur l'importance du recours à une décision collégiale systématisée. *« Il est rare que les praticiens aient à se déterminer dans la minute pour décider de l'avenir d'un prématuré. Il faut donc instaurer une réunion entre obstétriciens, pédiatres et sages-femmes pour bien évaluer le pronostic avant de faire une proposition aux parents. »* Et faire ainsi disparaître la *« variabilité gigantesque »* dans la prise en charge de la mère et de l'enfant entre les régions. *« Aujourd'hui, les décisions reposent encore sur la politique des maternités ou sur ce que les gens qui y travaillent pensent. Il est temps qu'elles soient enfin prises sur un substrat scientifique »*, conclut-il. ■ **Hugo Jalinière**

@HugoJaliniere

Le ressort caché de notre attirance pour le sucre

Cette préférence ne serait pas qu'une question de goût mais se trouverait inscrite dans notre intestin. Un récepteur y perçoit le glucose et en renforce l'envie, mécanisme observé chez la souris, à vérifier chez l'humain.

Aimer le sucre pourrait être un réflexe vital chez le nouveau-né qui tète le lait sucré de sa mère, mais aussi chez l'adulte, qui en tire une source importante d'énergie. Et cette préférence ne serait pas qu'une question de goût. Elle se trouverait inscrite dans notre intestin, révèle une équipe de l'université Columbia à New York (États-Unis) au terme d'une enquête approfondie chez la souris. Elle débute en 2008 quand d'autres chercheurs américains découvrent que des souris, même privées du goût du sucre par l'inactivation de son récepteur, finissent toujours par préférer les boissons riches en glucose plutôt qu'en édulcorants. De plus, le circuit de la récompense dans le cerveau demeure activé, ce qui suggère l'existence d'un autre mode de perception du glucose.

Pour l'identifier, l'équipe de Charles Zuker a d'abord décelé des neurones qui s'activent à la base du cerveau lorsque les souris absorbent du glucose, et non un édulcorant. Ceux-ci se sont révélés connectés au ganglion du nerf vague, le plus long de l'organisme, reliant le cerveau à de nombreux organes dont les intestins. En inactivant cette connexion, les chercheurs ont montré que les souris ne marquaient plus de préférence, même si elles gardaient toujours le goût pour le sucré.

Un réflexe évolutif très ancien

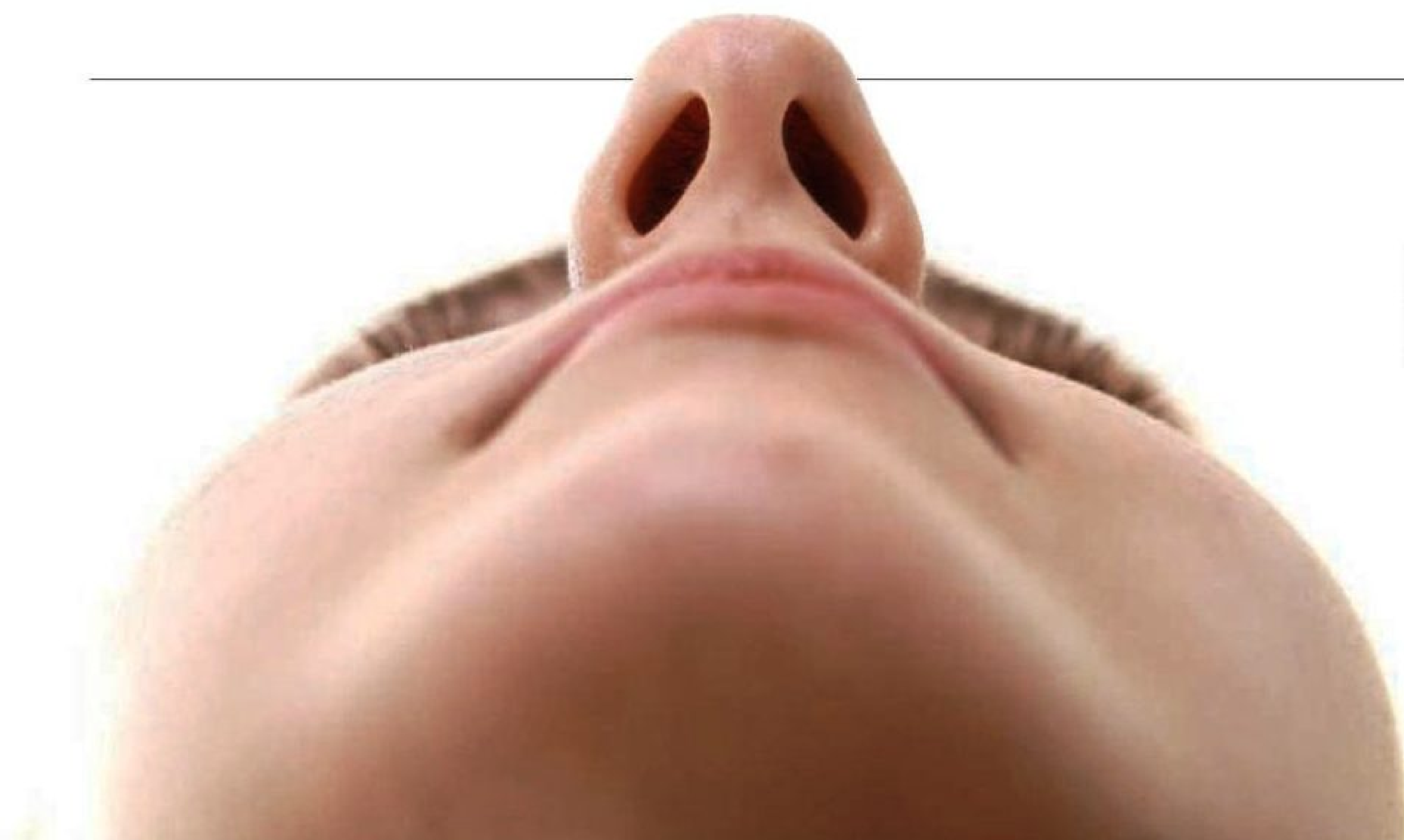
« Ce très beau travail identifie un nouveau mécanisme de perception du glucose qui a toutes les chances de se retrouver chez l'être humain », estime Serge Ahmed, chercheur à l'université de Bordeaux. Notre préférence pour les pâtes, le riz ou les pommes de terre, qui sont des sources importantes de glucose, aurait donc un ressort bien plus profond et inconscient. *« Elle repose sur un réflexe évolutif très ancien qui nous fait préférer les aliments riches en glucose, même s'ils ne sont pas perceptibles en tant que tels par la langue. Ce mécanisme pourrait aussi expliquer pourquoi la chirurgie bariatrique qui raccourcit l'intestin chez les personnes obèses réduit souvent leur envie d'aliments sucrés »*, précise Serge Ahmed. Cette découverte permet aussi de comprendre pourquoi les tentatives d'atténuer le goût pour le sucre à l'aide d'édulcorants échouent.Dans leur étude, les chercheurs américains ont également identifié le récepteur du glucose responsable de cette sensibilité intestinale au sucre, le transporteur de glucose SGLT1. Une cible nouvelle pour de futurs possibles traitements visant à calmer notre envie inconsciente de sucre. ■

Pierre Kaldy



DAVE G. KELLY/GETTY IMAGES

Le glucose perçu par l'intestin active à notre insu le circuit de la récompense.


GETTY IMAGES

Un test olfactif révèle l'état de conscience

Une étude montre comment les odeurs peuvent aider à mesurer le niveau de conscience de patients victimes d'une lésion cérébrale grave et ainsi leurs chances de rétablissement.

La capacité à distinguer les odeurs prédirait le rétablissement des patients en état altéré de conscience. Telle est la conclusion d'une nouvelle étude signée par l'équipe d'Anat Arzi, chercheuse au département de psychologie de l'université de Cambridge (Royaume-Uni) avec l'Institut des sciences Weizmann et l'Hôpital de rééducation Loewenstein (Israël). « *Pendant ma thèse nous avons découvert que la réponse olfactive — c'est-à-dire le changement du flux nasal selon le type d'odeur, plaisante ou déplaisante — était visible même pendant le sommeil, en dépit du manque d'éveil conscient*, raconte Anat Arzi. *Nous nous sommes donc demandé ce qui se passe dans les autres états de conscience altérée.* »
Pour répondre à la question, la chercheuse a fait passer un test olfactif à 43 personnes victimes d'une lésion cérébrale grave. Certaines étaient en état d'éveil non-répondant (anciennement dit végétatif : yeux ouverts, pas de conscience de l'environnement) et d'autres en état de conscience minimale (éveillés, conscience fluctuante). Différents récipients contenant une odeur agréable (shampoing), désagréable (poisson pourri) ou neutre ont été placés sous leur nez. Leur flux nasal était alors mesuré grâce à une canule insérée dans l'appendice. Réitéré durant plusieurs semaines, ce test a été suivi d'examens standards de conscience (stimulations, IRM fonctionnel, électroencéphalogramme...). Observation : chez certains patients, le flux nasal varie en fonction des bonnes ou mauvaises odeurs (discrimination olfactive), chez d'autres, non. Mais 100 % de ceux dont le flux nasal a varié ont vu leur état de conscience s'améliorer avec le temps. Et plus de 91 % ont survécu plus de trois ans après leur blessure. *A contrario*, 63 % des sujets qui n'ont pas discriminé les odeurs sont décédés. Il semblerait donc, selon les auteurs, qu'une bonne réponse olfactive indique un niveau de conscience probable, alors que les autres signes peuvent être absents.


UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

« Nous envisageons maintenant un examen très simple au chevet du malade »

Anat Arzi, chercheuse au département de psychologie de l'université de Cambridge (Royaume-Uni)

Une autre façon de tester le cerveau

« *C'est une très belle étude*, commente le professeur Steven Laureys, fondateur du Coma Science Group au CHU de Liège (Belgique). *Les tests standards permettent de rechercher plutôt l'activité du thalamus, par lesquels passent tous nos sens, sauf l'olfaction, qui dépend directement du cortex orbitofrontal. C'est donc une autre façon de tester le cerveau.* » Reste à savoir comment utiliser cette découverte. « *La précision du "test du snif" est remarquable*, note Anat Arzi. *Nous envisageons maintenant un examen très simple au chevet du malade, qui pourrait aider à la détection de la conscience chez les patients blessés.* » Le professeur Laureys, lui, tempère. « *L'équipe de l'Institut Weizmann est connue pour sa très grande maîtrise de ce type de mesures. Il faudrait s'assurer qu'elles sont reproductibles par tous dans des situations cliniques routinières.* » ■

Elena Sender
@ElenaSender



La voiture électrique prête à prendre la route

Une vaste étude internationale met en avant les avantages de cette motorisation pour l'environnement. Mais les obstacles demeurent nombreux, comme le réseau de bornes de recharge mal structuré, l'autonomie trop juste et des véhicules inadaptés.

Par Olivier Hertel @OlivierHertel

Avec la crise du Covid-19, les constructeurs automobiles espèrent un soutien important des États et de l'Europe. L'occasion de privilégier le développement de la voiture électrique. Ce d'autant plus que la nouvelle réglementation européenne — si elle est maintenue — impose aux constructeurs des émissions moyennes ne devant pas dépasser les 95 g de CO_2/km au 31 décembre 2020. L'offre devrait donc exploser. Un véritable bénéfice pour la lutte contre le réchauffement climatique car il est aujourd'hui admis que sur toute sa vie, la voiture à batterie émet moins que la voiture thermique. Une vertu qui ne suffit pas à gommer ses handicaps : l'autonomie trop juste, le temps de recharge trop long et un réseau public de bornes mal structuré.



RÉMY CORTIN POUR SCIENCES ET AVENIR

Le temps de charge de la batterie peut se révéler encore très long. Pour recharger une Smart Forfour à 80 %, par exemple, il faut 6 heures sur une prise domestique et de 45 minutes à 3 heures et demie sur une borne (en fonction de la puissance du chargeur embarqué).

La meilleure option pour le climat

La voiture électrique émet moins de gaz à effet de serre qu'un véhicule thermique. Mieux, aujourd'hui, quand on compare n'importe quelle voiture électrique avec n'importe quelle voiture thermique, quel que soit le pays, la première l'emporte dans 95 % des cas. Cette conclusion est tirée d'une vaste étude publiée en mars dans la revue *Nature Sustainability*, certainement la plus exhaustive à ce jour sur le sujet. Menés par des équipes britannique et néerlandaise, ces travaux sont fondés sur l'analyse du cycle de vie de l'ensemble des véhicules du marché, c'est-à-dire leur impact environnemental, notamment en matière d'émissions, depuis la fabrication jusqu'au recyclage en passant par l'utilisation sur la route. À noter, pour la voiture électrique, ce sont la fabrication de la batterie et celle de l'acier de la structure qui sont la source d'un surcroît d'émissions.
Les chercheurs ont analysé toutes les voitures : essence, Diesel, hybride, au gaz naturel, électrique, de toutes puissances, ainsi que les motos. Ils ont aussi tenu compte du mix énergétique disponible dans chaque pays pour produire l'électricité. Un critère essentiel car recharger une batterie en Pologne, où l'électricité provient essentiellement de centrales à charbon, revient à émettre beaucoup plus de gaz à effet de serre (950 g de CO_2/kWh) que la même recharge en France où l'électricité est produite à 75 % par les centrales nucléaires (100 g de CO_2/kWh).
L'étude s'est aussi attachée à prévoir l'évolution de ces émissions dans les prochaines décennies.

« Nos calculs montrent que dans dix ans, quels que soient les modèles comparés et quel que soit le pays considéré, les voitures électriques émettront moins de gaz à effet de serre (GES) que les voitures thermiques », explique Jean-François Mercure, chercheur à l'université d'Exeter (Royaume-Uni) et l'un des principaux auteurs de la publication. Selon lui, une stratégie favorisant l'électrification des transports est gagnante à coup sûr. *« Nos prévisions tiennent compte de trois scénarios plus ou moins favorables à la voiture électrique. Dans tous les cas, la voiture à batterie est plus vertueuse. »* Ces trois scénarios de prospective vont du plus au moins favorable. Premier cas : les politiques environnementales visent l'objectif de l'accord de Paris de 2015, c'est-à-dire permettent de limiter le réchauffement climatique à 2 °C. Cela implique une électrification massive des transports accompagnée d'une réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre dans la production d'électricité.
Le deuxième scénario, moyennement favorable, voit les technologies dans les transports et la production électrique suivre la même évolution qu'aujourd'hui, avec une tendance à la réduction des émissions, mais sans objectif. Enfin, troisième scénario, plutôt catastrophe : le secteur des transports suit l'objectif de l'accord de Paris, mais pas la production électrique. Elle émet de plus en plus de gaz à effet de serre car la demande en électricité explose. Mais même dans ce pire cas, la voiture électrique reste plus verte.

Le casse-tête de la recharge

Bienheureux le propriétaire de voiture électrique qui n'a pas besoin de charger son véhicule sur une borne publique. Car c'est ▶


P.-L. TABERNA

INTERVIEW

PATRICE SIMON

DIRECTEUR ADJOINT DU RÉSEAU SUR LE STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE DE L'ÉNERGIE (RS2E) ET PROFESSEUR DE SCIENCES DES MATÉRIAUX À L'UNIVERSITÉ PAUL-SABATIER DE TOULOUSE

« La batterie au lithium-ion est encore là pour longtemps »

Demain, quelles batteries pour augmenter l'autonomie des voitures électriques ?
Le lithium-ion est encore là pour longtemps. Avant qu'une nouvelle technologie ne s'impose sur le marché, elle devra faire la démonstration de ses performances en matière de capacité et de durée de vie, mais aussi de sécurité et de fiabilité. Sans oublier le coût, qui a été divisé par 8 depuis 2010. Le prix des cellules (une batterie en compte plusieurs dizaines) est actuellement de 120 à 130 € par kilowattheure (kWh) et devrait baisser à environ 100 € dans les prochaines années. Quant à sa capacité massique, elle a été presque multipliée par trois, passant d'environ 100 Wh/kg en 1991 à 250 voire 300 Wh/kg aujourd'hui.

Est-ce que l'on peut encore les améliorer ?
De nouveaux développements devraient encore améliorer les performances. Ainsi, dans les meilleures batteries, la présence d'un petit pourcentage de silicium au niveau de l'électrode négative permet de charger plus de lithium et donc d'augmenter la densité énergétique. À la borne positive (les électrodes actuelles dites NMC sont composées de lithium, nickel, manganèse, cobalt et oxygène), augmenter la part de lithium tout en diminuant celle du cobalt (dont les modalités d'extraction sont controversées) favorise la libération d'électrons, donc de courant.
La maîtrise de ces technologies permettrait d'atteindre les 400 Wh/kg.

La technologie dite tout-solide, très prometteuse, est-elle prête ?
La densité d'énergie qu'elle offre permettrait de quasi doubler l'autonomie des voitures. Mais sa commercialisation n'est pas acquise tant les verrous sont nombreux et difficiles à lever (*lire* S. et A. *n° 877*). Enfin, d'autres approches visent à remplacer le lithium par du calcium ou du magnésium très abondants sur Terre. Mais là, cela reste à l'état de recherche. **Propos recueillis par O. H.**

là que les ennuis commencent. En France, il existe près d'une centaine de réseaux de recharge. Certains dépendent d'une commune, d'un département, d'une région ou d'acteurs privés, français ou européens. La plupart de ces réseaux ne sont pas interconnectés. Autrement dit, si un utilisateur est abonné à l'un, il devra aussi s'abonner aux autres réseaux pour pouvoir accéder à leurs services. Les choses se compliquent un peu plus pour ceux qui s'aventurent sur l'autoroute. Ce sont encore d'autres opérateurs qui délivrent le courant et auxquels il faut s'abonner ! Problème : en février, Izivia, filiale d'EDF, premier opérateur pour la recharge rapide sur autoroute, a décidé de supprimer définitivement 189 de ses 217 bornes, en raison de problèmes de sécurité.
Il est ainsi devenu quasi impossible de traverser la France en voiture électrique, sauf pour les propriétaires de Tesla qui disposent d'un réseau exclusif de près de 600 bornes de recharge dans 71 stations. Il existe pourtant des solutions comme la plate-forme Gireve qui permet d'interconnecter plusieurs réseaux. Nouveau problème : l'opacité de la tarification. Les prix de la recharge varient selon la durée, la quantité d'énergie, le stationnement, la commission, les accords passés entre constructeurs et réseaux, etc. Ainsi, on a pu constater depuis janvier une lourde augmentation des tarifs du réseau européen Ionity détenu par un consortium de marques automobiles (BMW, Mercedes-Benz, Ford, Audi, Porsche, Volkswagen et Hyundai). Jadis, il facturait un forfait de 8 € la charge, quelle que soit la durée ou la quantité d'énergie. Mais aujourd'hui, en particulier les propriétaires de voitures qui ne font pas partie du consortium doivent débourser 0,79 € du kWh. Pour une Renault Zoé, le plein d'électricité a bondi de 8 € à 41 €.

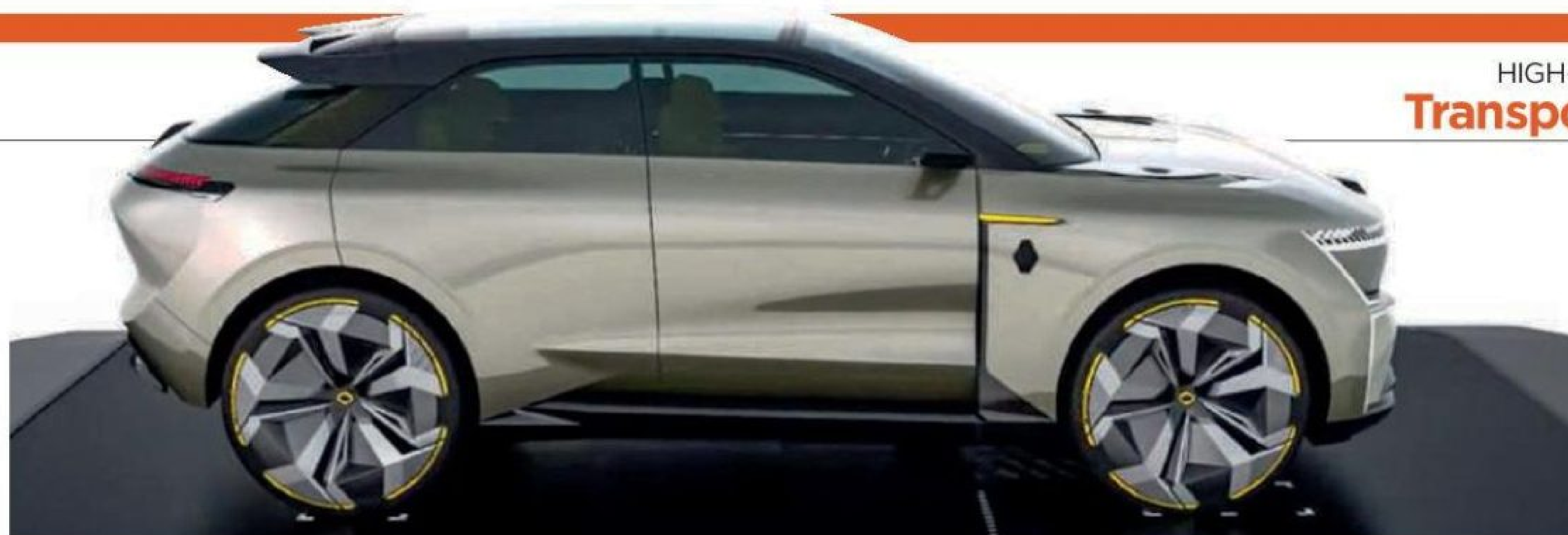
Autonomie constructeur versus autonomie réelle

Principal obstacle à l'acquisition d'une voiture électrique, son autonomie. Et ce, en dépit des progrès importants de ces dernières années. Si la plupart des trajets quotidiens des Français dépassent rarement la trentaine de kilomètres, l'idée de ne pas pouvoir effectuer quelques longs trajets durant l'année, notamment pendant les vacances d'été, reste un frein à l'achat. Pendant ce temps, les constructeurs affichent des chiffres d'autonomie optimistes… très discutables. Les



FRANCOIS HENRY/REA

Les réseaux de recharge, qui appartiennent à différents opérateurs, ne sont pas interconnectés : les tarifs varient et chacun requiert un abonnement spécifique.





RENAULT

La Morphoz est un concept car de Renault qui pourrait préfigurer l'évolution des gros véhicules (SUV) électriques : sa longueur est modulable selon que le véhicule est utilisé en ville ou pour des longs trajets sur route.

valeurs annoncées sont obtenues après une procédure de mesure de la consommation des véhicules (thermiques européens et électriques) sur bancs à rouleaux, la *Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure* (WLPT). Censées être proches de la consommation réelle, les mesures ne correspondent que rarement à l'autonomie constatée pour les voitures électriques. Nos confrères de *L'Automobile Magazine*, qui utilisent depuis une vingtaine d'années leur propre procédure de test sur circuit (certifiée ISO 9001), ont ainsi relevé des écarts importants. Par exemple, pour une Peugeot e208 : 252 km d'autonomie alors que le constructeur clame 394 km. Sur autoroute, cycle le plus défavorable à la voiture électrique, une Audi eTron 55 Quattro atteint tout juste 250 km. Seules les coréennes Kia e-Niro et Hyundai Kona tirent leur épingle du jeu avec des autonomies maximales respectives de 448 et 480 km. Outre l'autonomie, nos confrères de *L'Automobile Magazine* insistent sur l'importance du temps de charge. Avec le chargeur le plus puissant (50 kW) accepté par une Renault Zoé, il faut près d'une heure pour passer de 10 à 80 %. Et près de cinq heures avec les chargeurs les plus puissants qui peuvent être installés à domicile.

SUV, un non-sens électrique

Depuis janvier 2020, la nouvelle réglementation européenne CAFE (Corporate Average Fuel Economy) limite les émissions moyennes sur l'ensemble des ventes d'un constructeur à 95 g de CO_2/km par véhicule. Même si cette valeur peut légèrement varier selon la masse du véhicule, tous les constructeurs ont dû étoffer leur offre de voitures électriques ces derniers mois. Du coup, sont apparus au catalogue, des modèles sportifs et des SUV souvent lourds et très gourmands en énergie. Par exemple, le SUV Audi eTron 55 Quattro qui affiche plus de 2,5 tonnes sur la balance dont 700 kg de batteries. S'il s'agit de transporter une seule personne de 80 kg pour ses trajets quotidiens domicile-travail, ce véhicule est à l'évidence un non-sens. « *Il existe des besoins pour des gros véhicules, notamment pour des familles nombreuses. Mais transporter autant de batteries pour une seule personne, c'est dérangeant. Si la crise du Covid-19 se traduit par un plan de relance, il faudra en profiter pour stimuler par des aides le développement de la voiture électrique, mais pas des SUV ou des véhicules puissants. L'enjeu est de démocratiser son usage* », estime Maxime Pasquier, spécialiste des transports et de la mobilité à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). ■

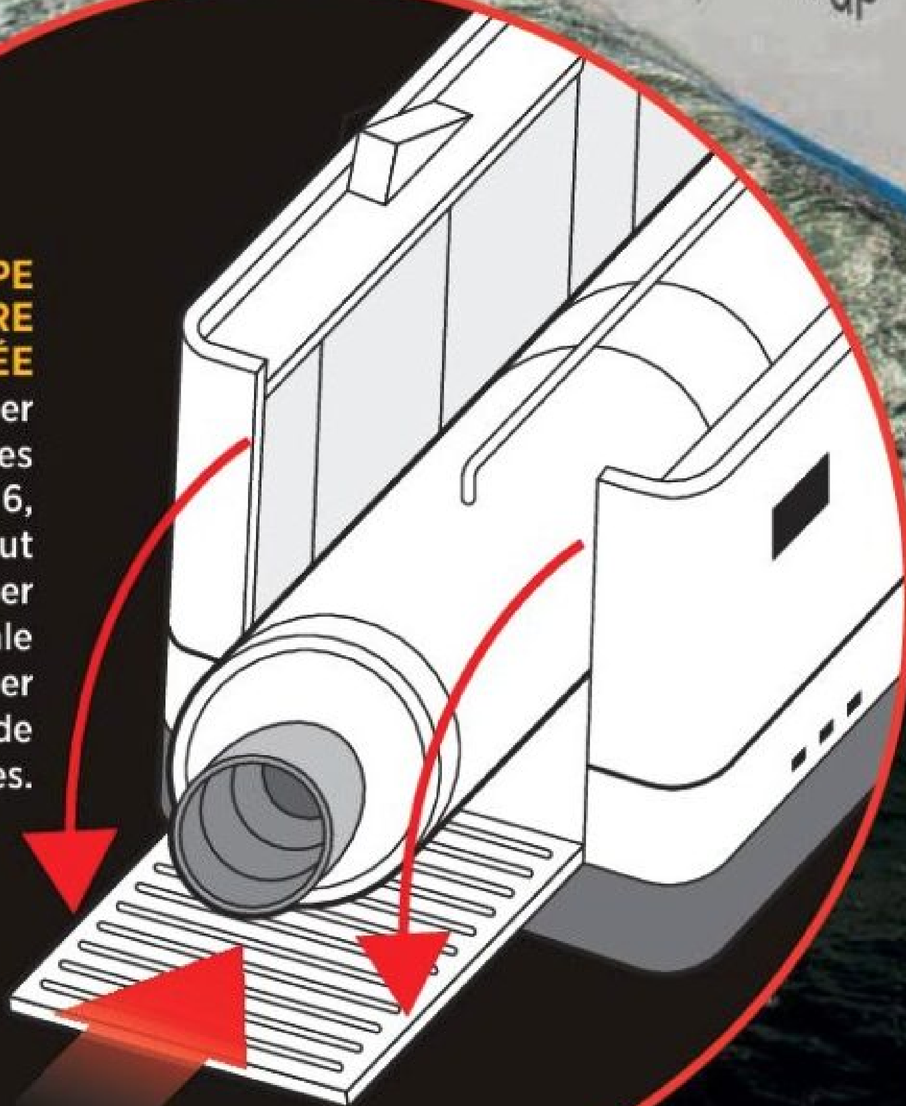


MAXIME PASQUIER

« L'enjeu est de démocratiser l'usage de la voiture électrique, à l'exception des modèles puissants »

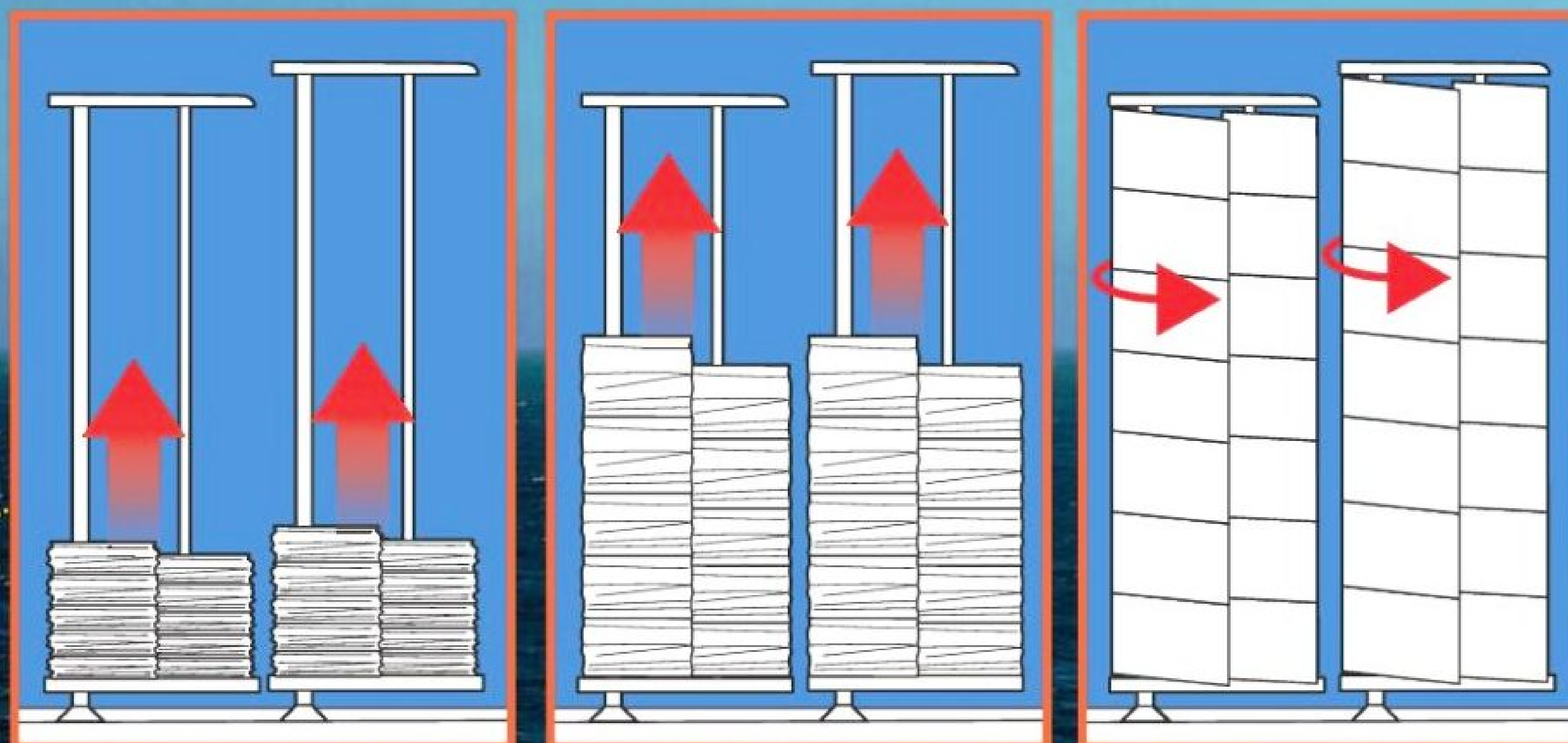
Maxime Pasquier, spécialiste des transports et de la mobilité à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe)

PANNEAUX SOLAIRES
Ils couvrent les dépenses énergétiques des équipements de bord.



UNE RAMPE ARRIÈRE ARTICULÉE
Afin de charger et décharger les étages d'Ariane 6, la poupe peut s'abaisser à l'horizontale et supporter une charge de 200 tonnes.





DES AILES ARTICULÉES
Ces voiles sont affalées à quai pour éviter la prise au vent et hissées à la verticale quand le navire appareille. Elles comportent deux parties. L'angle de cambrure de la partie externe peut être ajusté en fonction de la force et de la direction du vent. Il est aussi possible de distribuer au mieux la puissance du vent entre le haut et le bas de la voile pour optimiser la propulsion. Des capteurs et des girouettes sont reliés à un ordinateur qui pilote vérins et moteurs électriques pour adapter la forme des ailes aux conditions météorologiques.

UNE CARÈNE SPÉCIALE
À la fois aérodynamique et hydrodynamique, elle est adaptée à la propulsion hybride.

Ce navire hybride va transporter Ariane 6

À partir de 2022, les éléments du nouveau lanceur européen seront acheminés en Guyane à bord d'un bateau hybride à voile et à moteur.

CET ÉTONNANT NAVIRE, baptisé *Canopée*, aura la délicate mission de traverser l'Atlantique pour acheminer des éléments de la future Ariane 6. Dessiné par l'agence française d'architecture navale VPLP, c'est l'héritier du trimaran *BMW Oracle*, vainqueur de la Coupe de l'*America* en 2010 grâce à son aile rigide. Cette ossature aérodynamique pivotante et réglable, en carbone recouvert de tissu polyester, avait permis au trimaran d'atteindre des vitesses quatre fois supérieures à celle du vent! Points forts : une prise au vent réduite et une portance plus efficace.
Le concept a été adapté pour la marine marchande, sous forme d'une aile rigide affalable automatisée. Le *Canopée* sera équipé de quatre de ces voiles rigides d'environ 50 mètres de haut, pour une surface totale de 1452 m². Baptisées OceanWings, elles lui permettront d'atteindre une vitesse moyenne de 16 nœuds, soit près de 30 km/h. Mais, le vent ne suffisant pas, la propulsion principale du bateau sera assurée par quatre moteurs fonctionnant au gaz naturel liquéfié et au gazole marin. Ce bateau à propulsion hybride propose ainsi un début de solution au problème des émissions de gaz à effet de serre du secteur maritime, puisqu'il devrait permettre de réduire de 30 % la consommation de carburant. ■

Sylvie Rouat
@srouat1

ALIZÉS - INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS

La prédiction des crimes dans la tourmente

La police de Los Angeles a annoncé, comme d'autres, qu'elle cessait d'utiliser Predpol. Ce logiciel censé prévoir où et quand surviendront des délits a toujours fait polémique.

LE CRIME EN ALGORITHME

Des séismes à la criminalité Le code source de Predpol n'est pas public, mais ses créateurs n'ont jamais caché s'être inspirés de l'algorithme d'un sismologue français de l'université de Savoie-Mont Blanc, David Marsan, partant du principe que la criminalité obéit, comme les séismes, à un phénomène de répliques.

D'autres logiciels. Développé par deux universitaires, CrimeScan est utilisé à Chicago et Pittsburgh, tandis que La Nouvelle-Orléans collabore avec la société Palantir. Au Royaume-Uni, plusieurs polices travaillent avec le suédois Qlik et le ministère de l'Intérieur (Home Office) finance un projet appelé National Data Analytics Solution.

Résoudre des affaires. Au Royaume-Uni, la police du comté du Kent utilise Evidence Based Investigation Tool (EBIT), un outil mis au point par des chercheurs de l'université de Cambridge, qui prévoit si un délit pourra ou non être résolu.



DAMIAN DOVARGANES/AP/SIPA

Une carte de Los Angeles, en 2012, affiche les zones ciblées.

La police de Los Angeles (LAPD), aux États-Unis ne se sert plus du logiciel Predpol depuis fin avril. Officiellement, c'est la pandémie de Covid-19 qui aurait amené la ville à arbitrer ses choix budgétaires en faveur des mesures sanitaires. Mais les véritables causes de son abandon pourraient bien être ses failles et son absence d'efficacité. Après celle de Santa Cruz, où siège l'éditeur du logiciel, la police de Los Angeles a été l'une des premières à utiliser Predpol en 2010, censé prévoir le lieu de survenue des crimes et délits. Depuis d'autres ont suivi, et des logiciels similaires ont été développés. Le principe ? Un algorithme analyse des historiques locaux de crimes (typologie, géolocalisation), les croise avec des données sur les comportements délictuels et criminels issus de travaux de recherche en anthropologie et signale sur une carte où ces actes délictueux sont le plus susceptibles d'être commis. Objectif : mieux déployer des patrouilles. Le logiciel s'affine avec les nouvelles données toutes les dix ou douze heures.

De nombreux biais ont été soulevés, comme le fait que Predpol s'appuie sur des données anciennes, parfois collectées de façon discriminatoire par la police. Résultat : le logiciel cible les mêmes quartiers et populations. Il ne tient pas compte non plus d'éventuels changements de pratiques de comptage de la délinquance, ni du déplacement de la criminalité induit par son usage. Surtout, il a déçu ses utilisateurs : plusieurs villes américaines n'ont pas constaté de baisse de la délinquance. Y compris à Los Angeles selon un rapport de mars 2019.

Arnaud Devillard @A_Devila

INTERVIEW

OLIVIER ERTZSCHEID

MAÎTRE DE CONFÉRENCES EN SCIENCES DE L'INFORMATION À L'UNIVERSITÉ DE NANTES

« UN CONTEXTE DE REJET DE LA SURVEILLANCE »

« Il n'est pas étonnant que ce type de logiciel déçoive et les reproches que l'on pouvait lui faire se sont révélés légitimes. Predpol est en fait un logiciel de ressources humaines, qui indique où déployer des patrouilles. Le tort est d'avoir cru qu'il prédirait des choses auxquelles les policiers eux-mêmes n'auraient pas pensé. Et quand bien même cela a pu arriver, une fois les lieux nouveaux où patrouiller connus… le logiciel devient inutile. Le problème reste que les données ont une dimension sociale : Predpol installe un système de valeur et le perpétue. Cet abandon s'inscrit aussi dans un contexte de rejet de la surveillance : des villes américaines refusent la vidéosurveillance et des débats ont cours sur la reconnaissance faciale. »



OLIVIER ERTZSCHEID

ÉVÉNEMENTS 2020

ANTARCTIQUE

Le voyage d'une vie

du 11 au 27 novembre 2020



SA MAJESTÉ LE CONTINENT BLANC

**« Mi-novembre c'est le printemps dans la péninsule antarctique.
Pas de petite fleur mais des journées qui s'allongent, des groupes de centaines de manchots qui s'installent.
On parade, on se fait la cour. Les paysages sont immaculés, encore recouverts de la neige de l'hiver qui se termine.
Parfois la banquise est encore présente dans certaines baies.
De gros icebergs reprennent leur dérive. Quelques baleines sont déjà là, les phoques sont de retour.
Des otaries se baignent au soleil…
C'est le renouveau baigné par une lumière limpide.
Parfois une averse de neige vient nous rappeler que nous sommes bien en Antarctique… »**



Rémy Marion
Conférencier, spécialiste des régions polaires

Avec vous dans cette aventure



VOTRE NAVIRE POLAIRE LE WORD EXPLORER

86 cabines. Technologie hybride dernière génération.

Voyage contrôlé par l' IAATO dans le respect des règles sanitaires et de protection de l'environnement.





VOTRE EXPÉDITION LES POINTS FORTS

- **BUENOS AIRES**
- **USHUAÏA ET LA TERRE DE FEU**
- **LE CONTINENT BLANC :** 7 jours de navigation et d'escales dans les baies les plus reculées, et les îles mythiques abordées par les grands explorateurs
- **PASSAGE DU CAP HORN**
- **NAVIGATION DANS LE PASSAGE DU DRAKE** (aller/retour)
- **VOL AIR FRANCE** au départ de Paris
- **CONFÉRENCIER ET SPÉCIALISTES FRANCOPHONES**

VOTRE CABINE

CABINE INFINITY SUITE AVEC BALCON « JULIETTE »

Par personne :
12 990 € **11 450 €**

Programme complet vol inclus au départ de Paris - pension complète - excursions incluses un voyage francophone en « tout inclus »

RENSEIGNEMENTS ET INSCRIPTIONS :

BLEU VOYAGES
Tél. 04 72 76 75 66
voyager@bleu-voyages.fr
213 rue de Gerland - Bat 2
69007 LYON
Plus de détails sur :
www.bleu-infini.fr

Bleu Voyages

Un potager dans sa cuisine

Cultiver plantes aromatiques et petits fruits ou légumes chez soi, même sans espace extérieur, et en toute saison : c'est possible grâce aux jardins d'intérieur éclairés par des ampoules à LED.

Ils fleurissent depuis quelques années dans les rayons des jardineries, des magasins de bricolage et même des grandes surfaces, et prennent peu à peu racine dans nos intérieurs. Les potagers connectés miniatures séduisent notamment les urbains désireux de s'offrir un petit coin de verdure, même réduit au plan de travail de la cuisine. La société française Prêt à Pousser, lancée grâce à une campagne de financement participatif en 2015, affirme en avoir écoulé depuis environ 80000, principalement dans l'Hexagone. Aujourd'hui, de nombreuses start-up, comme la société Véritable, basée près de Lyon, sa concurrente originaire d'Estonie Click and Grow ou encore la finlandaise Plantui proposent ces jeux de petits bacs de quelques dizaines de centimètres de côté, commercialisés entre 100 et 300 euros, que l'on recharge avec des capsules intégrant des graines alimentaires, vendues autour de 5 à 10 euros.

70 kWh
La consommation annuelle approximative d'un potager connecté, soit un coût d'environ 11 euros.

Des cultures basées sur l'hydroponie

Celles-ci permettent d'obtenir au bout de quelques semaines des plantes aromatiques (basilic, ciboulette, coriandre, persil, thym, menthe...), des salades, voire de petits fruits et légumes (fraises, tomates cerises, piments voire mini-poivrons) ou encore des fleurs comestibles (physalis, fleurs de courgette, camomille...). Si, dans quelques rares modèles, les plantes poussent dans un petit volume de terre, la plupart reposent sur le principe de l'hydroponie, c'est-à-dire la culture hors sol. Les racines sont pour partie à l'air libre et pour partie plongées dans l'eau, et ce sont des éléments nutritifs intégrés dans les capsules qui fournissent à la plante ce dont elle a besoin pour sa croissance. Quant à la lumière, elle est apportée par un éclairage à LED, faiblement consommateur (quelques euros par an), qui s'active lorsque la luminosité de la pièce est insuffisante. Enfin, une application associée peut proposer des conseils de culture et même indiquer à quel moment récolter ou recharger le réservoir d'eau.

Depuis les premiers modèles, les fabricants cherchent à s'éloigner de l'aspect « gadget ». Outre des bacs (un peu) plus grands ou pouvant être combinés pour cultiver plusieurs espèces en même temps, ils s'attachent surtout à diversifier leur gamme, en sélectionnant des variétés capables de pousser rapidement dans ce type de substrat. Ils proposent ainsi des plantes plus nombreuses et plus originales comme du chou asiatique, de la moutarde ou davantage de mini-légumes (aubergines, courgettes, oignons, radis, cornichons...). Les aromates et les légumes peuvent même être replantés une fois le substrat d'origine épuisé. ■

Muriel de Vericourt

De la lumière, de l'eau et des nutriments

Un couvercle transparent joue le rôle de serre aux premiers stades de développement.

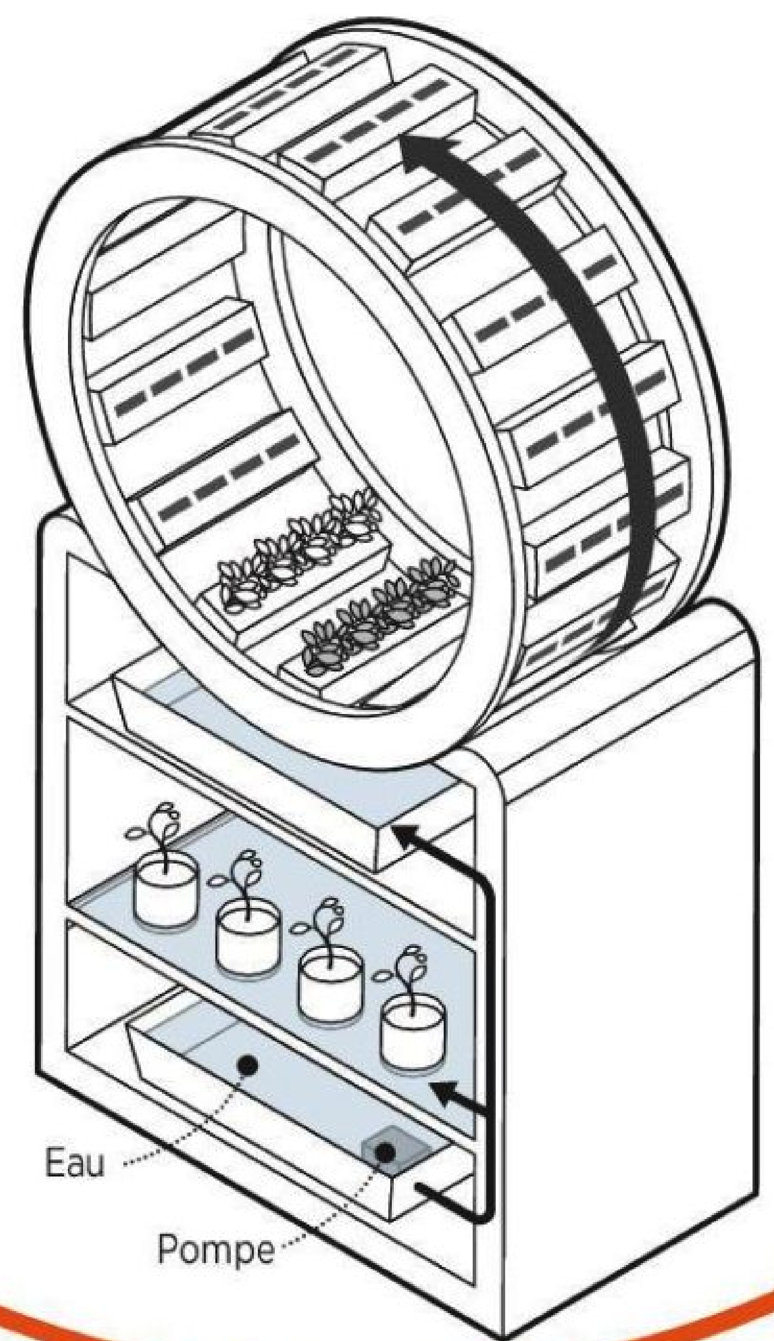
Des capsules à l'enveloppe biodégradable intègrent les graines, des éléments nutritifs et parfois un substrat à base de tourbe, très riche, ou encore de perlite, qui aère le mélange.

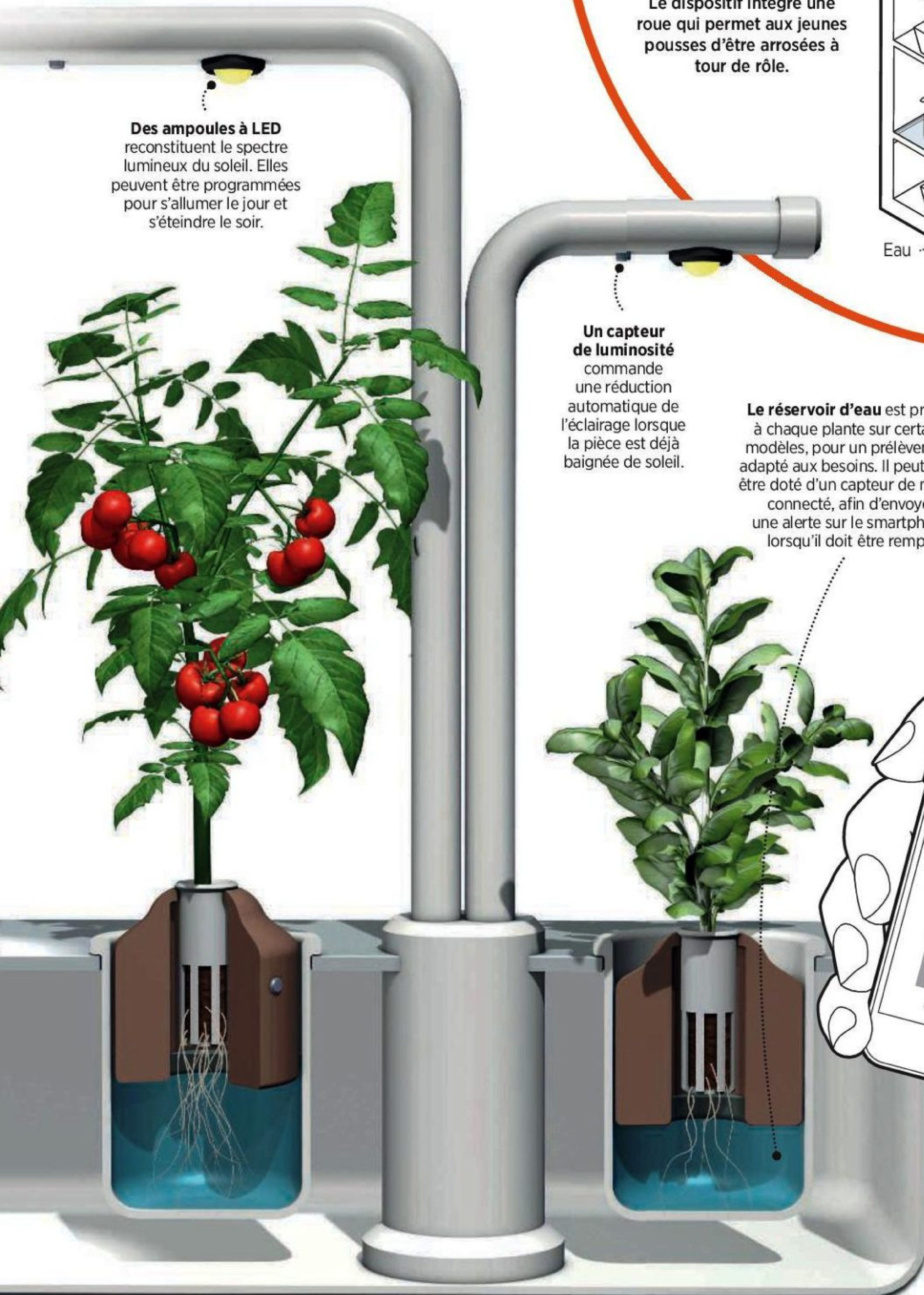
Un flotteur donne une indication sur le volume d'eau restant dans le réservoir.

BRUNO BOURGEOIS POUR S. ET A.

Une roue pour voir grand

Dans ce meuble de 1,30 m de haut et 70 cm de large conçu par la société canadienne OGarden, 90 plantes poussent simultanément. Le dispositif intègre une roue qui permet aux jeunes pousses d'être arrosées à tour de rôle.





Des ampoules à LED reconstituent le spectre lumineux du soleil. Elles peuvent être programmées pour s'allumer le jour et s'éteindre le soir.

Un capteur de luminosité commande une réduction automatique de l'éclairage lorsque la pièce est déjà baignée de soleil.

Le réservoir d'eau est propre à chaque plante sur certains modèles, pour un prélèvement adapté aux besoins. Il peut aussi être doté d'un capteur de niveau connecté, afin d'envoyer une alerte sur le smartphone lorsqu'il doit être rempli.



Une application permet d'accéder à un suivi de la croissance de chaque plante et à des conseils de taille et de récolte. Télécharger une photo de sa plante donne la possibilité de recevoir des recommandations personnalisées.

Où sont les planètes ?



MERCURE

La petite planète atteint sa plus grande distance angulaire (23,6°) à l'est du Soleil le 4. Elle est observable en soirée vers le couchant les deux premières semaines du mois. Durant cette période, elle plonge dans la direction du Soleil et voit son éclat diminuer de 75 %.



VÉNUS

L'étoile du Berger passe en conjonction inférieure avec le Soleil le 3. Elle redevient visible en fin de mois au petit matin, vers le levant. Le 30, son lever précède celui de l'astre du jour de 1 h 45.



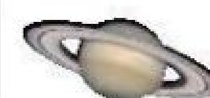
MARS

La planète Rouge se lève en milieu de nuit. Point assez brillant à la couleur caramel situé sous le carré de Pégase, elle est assez facile à repérer en fin de nuit vers le sud-est. Le 6, Mars est en quadrature occidentale (à 90° à l'ouest du Soleil). Ce passage signale le début d'une bonne et longue période d'observation de la planète qui, le 24, quittera le Verseau pour les Poissons.



JUPITER

Très brillante, la planète géante est observable du milieu de la nuit jusqu'à l'aube. On la trouve vers le sud à une vingtaine de degrés de hauteur aux premières lueurs matinales. Elle se situe dans le Sagittaire *(voir ci-contre)*.



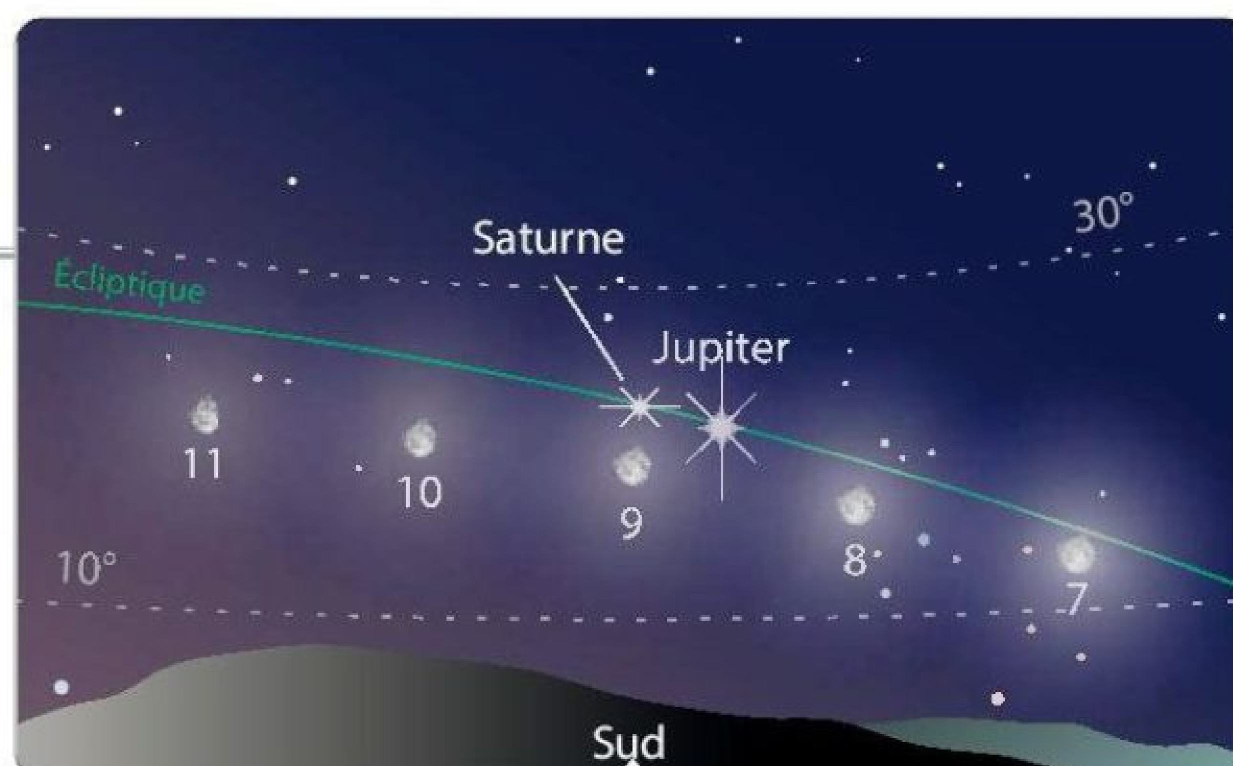
SATURNE

Située à environ 5° de Jupiter mais 15 fois moins brillante qu'elle, Sarturne se trouve quasiment dans les mêmes conditions d'observation *(voir ci-contre)*.



NIGHTSHIFT

est une application gratuite en anglais sous Android. Elle délivre des informations très utiles à l'astronome amateur, notamment l'heure de lever et de coucher du Soleil, les conditions météorologiques actuelles et à venir, la phase de la Lune, les planètes visibles et les pluies d'étoiles filantes du moment.

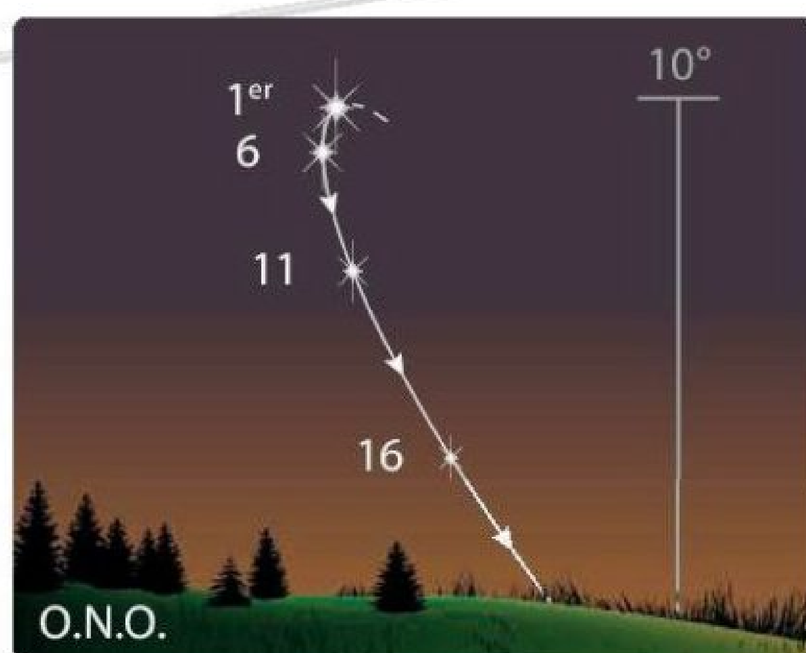


Nous sommes une heure avant le lever du Soleil. Jupiter et Saturne sont alors proches de leur culmination.

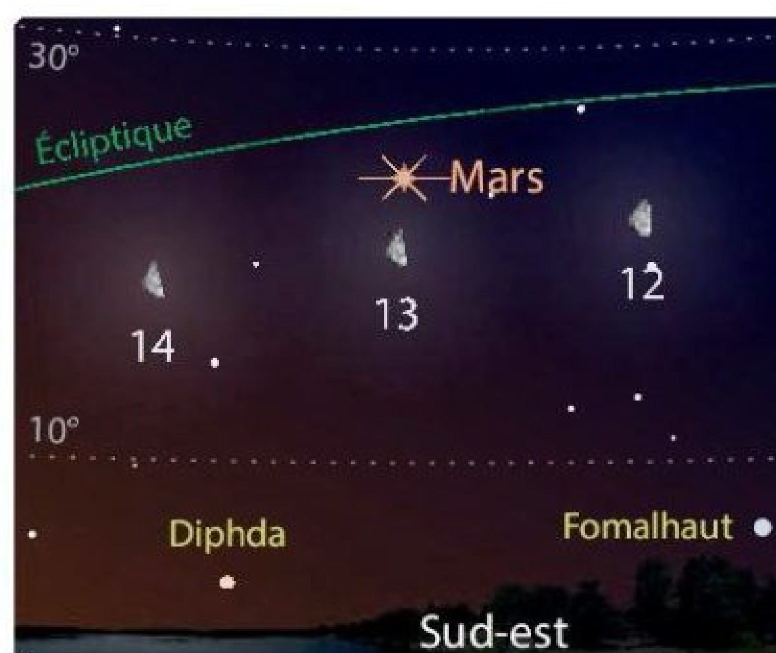
Jupiter et Saturne, si loin, si proches

SIX MOIS AVANT LEUR SUPERBE CONJONCTION DE DÉCEMBRE, les planètes Jupiter et Saturne nous offrent un avant-goût du spectacle à venir en agrémentant le ciel de fin de nuit. Séparées par 5° à 6° tout ce mois, elles reçoivent, le 9, la visite d'une Lune à la phase gibbeuse et décroissante. En fin de nuit, notre brillant satellite sera alors à 3,5° de Saturne et à 6° de Jupiter. Songez qu'en cet instant toutefois, cette dernière sera 1690 fois plus éloignée de nous que la Lune… et Saturne plus de 3600 fois.

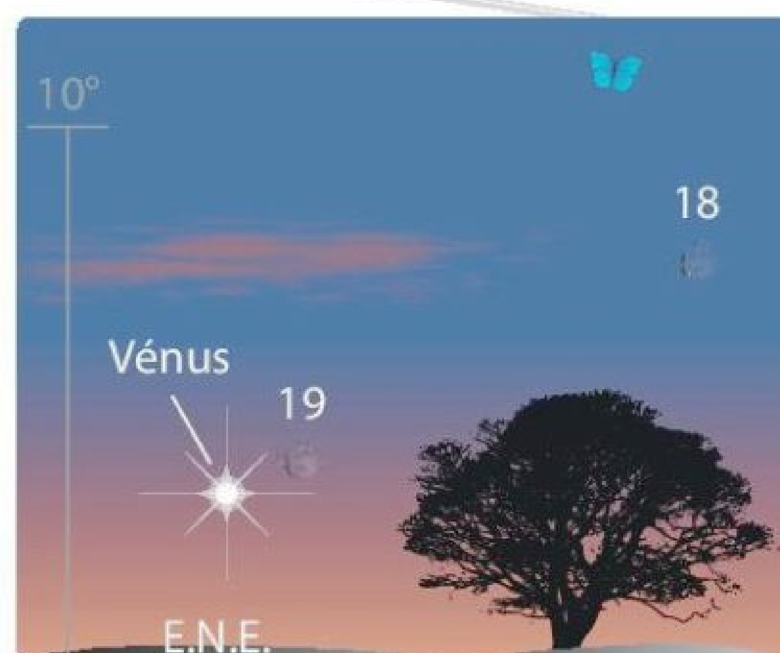
Notre conseil Le rapprochement du 9 n'est pas difficile à observer si ce n'est qu'il vous faudra un horizon sud bien dégagé… et du courage pour vous lever tôt, entre 4 h 30 et 5 h 30 selon votre localité !



EN PREMIÈRE QUINZAINE DU MOIS, LA PLANÈTE MERCURE est accessible en soirée, bas vers le couchant. Nous sommes ici 45 minutes après le coucher du Soleil.



LE 13, UNE HEURE AVANT LE LEVER DU SOLEIL, observez le dernier quartier de Lune passer à un peu plus de 3° sous la planète Mars. La scène prend place dans la constellation du Verseau.



LE MATIN DU 19, 30 MINUTES AVANT LE LEVER DU SOLEIL, un très fin croissant de Lune sera à 2° de la planète Vénus. Un rapprochement qui sera plus facile à admirer aux jumelles!

Par Johan Kieken

Nord
Capella
Mirfak
PERSÉE
COCHER
GIRAFE
Castor
Pollux
CASSIOPÉE
LYNX
LÉZARD
Étoile polaire
CÉPHÉE
PETITE OURSE
GRANDE OURSE
CANCER
PÉGASE
Deneb
CYGNE
Dubhe
Merak
DRAGON
Alioth
PETIT LION
DAUPHIN
Mizar
Phecda
LYRE
Est
FLÈCHE
Véga
Zénith
Alkaïd
CHIENS DE CHASSE
Ouest
Régulus
PETIT CHEVAL
PETIT RENARD
COURONNE BORÉALE
BOUVIER
LION
Altaïr
Rasalhague
HERCULE
CHEVELURE DE BÉRÉNICE
Dénébola
SEXTANT
Arcturus
AIGLE
SERPENT (queue)
SERPENT (tête)
VIERGE
OPHIUCUS
COUPE
ÉCU DE SOBIESKI
Jupiter
Spica
CORBEAU
SAGITTAIRE
BALANCE
Antarès
SCORPION
LOUP
CENTAURE
Sud

◀ **Carte du ciel** visible à la mi-juin vers minuit.

La Lune



Pleine lune : vendredi 5 à 21 heures (La Lune se trouve alors dans d'Ophiucus)



Dernier quartier : samedi 13 à 8 heures (Verseau)



Nouvelle lune : dimanche 21 à 9 heures (Taureau)



Premier quartier : dimanche 28 à 10 heures (Vierge)

Le 5, éclipse de Lune par la pénombre, en partie visible en France en soirée. Phénomène peu spectaculaire.

Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er juin	5h52	21h46
30 juin	5h51	21h58

Le 21, éclipse annulaire, invisible en France, solstice le 20 à 23h44

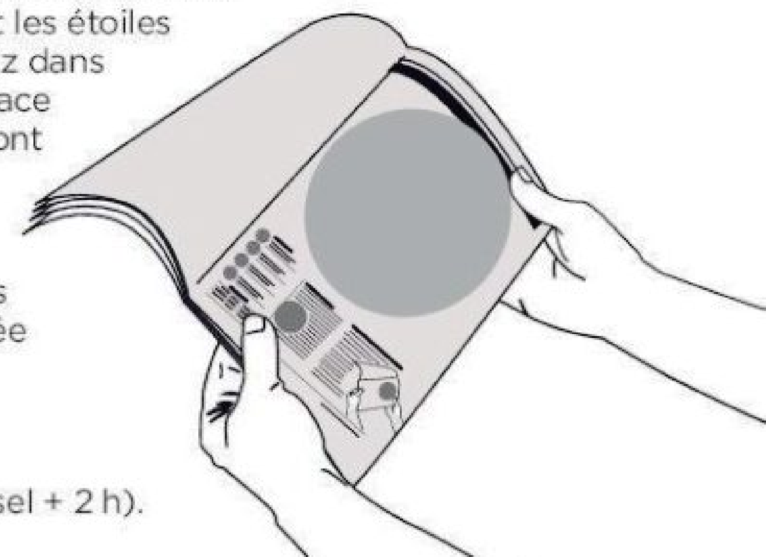
D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.



Comment utiliser cette carte

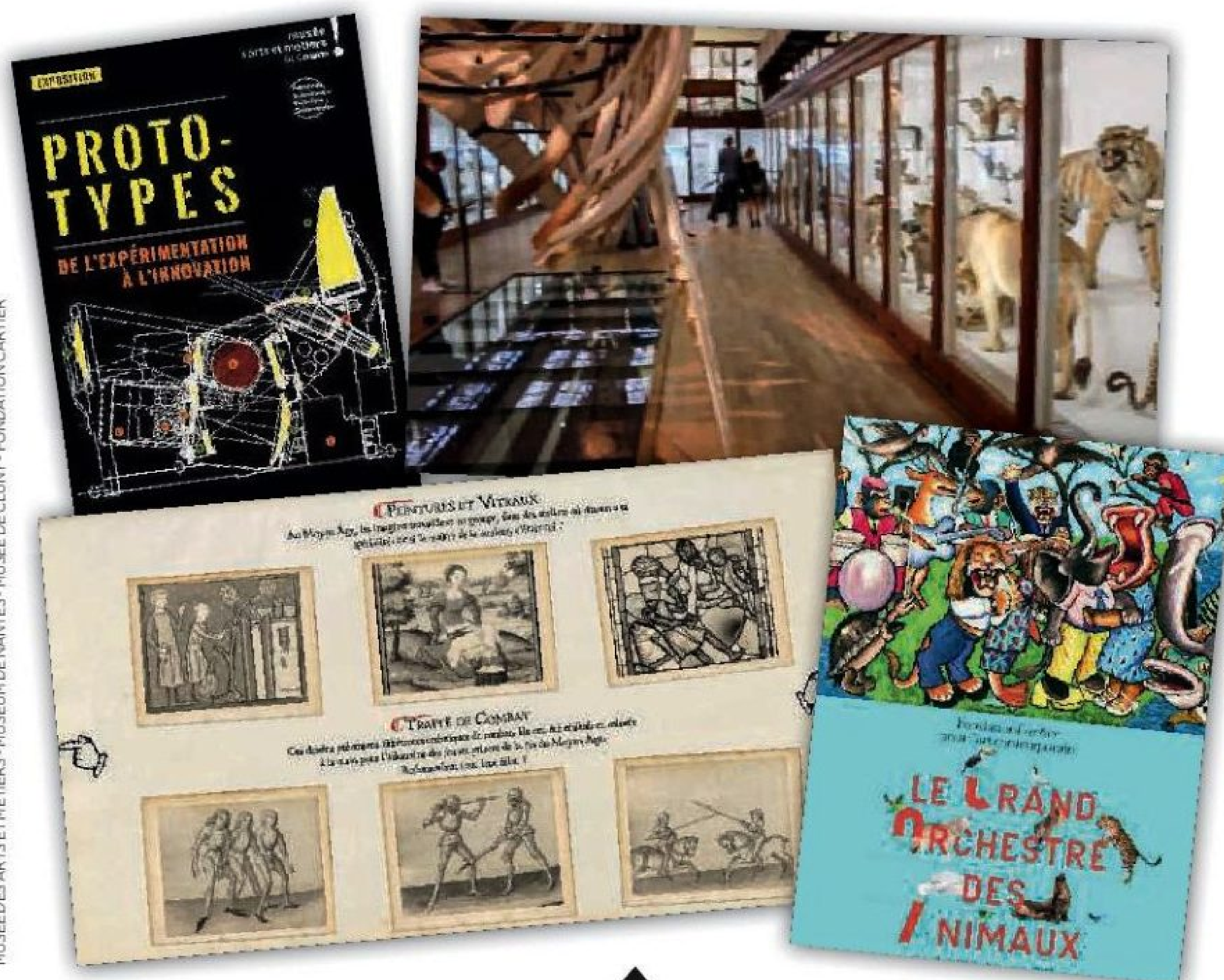
Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2 h).

C'EST À VOIR

Le déconfinement s'amorce progressivement dans les musées scientifiques. En attendant leur réouverture, c'est l'occasion de découvrir virtuellement les collections de différents lieux dans d'autres régions. **Voici une nouvelle sélection.**



MUSÉE DES ARTS ET MÉTIERS - MUSÉUM DE NANTES - MUSÉE DE CLUNY - FONDATION CARTIER

Musée des Arts et Métiers, muséum de Nantes, musée de Cluny, Fondation Cartier… proposent en ligne visites d'expositions virtuelles, séries audio ou vidéo, jeux…

EXPOSITIONS VIRTUELLES

Prototypes, de l'expérimentation à l'innovation

L'exposition de printemps du musée des Arts et Métiers à Paris n'ayant pu ouvrir, son contenu a été partiellement adapté à la visite virtuelle. Elle présente une vingtaine d'objets et d'instruments précurseurs : premiers modèles expérimentaux de robot bipède, de cœur artificiel, Minitel ou encore de bistouri laser.
sciav.fr/880prototypes

Le Louvre-Lens, à la maison !

Une lecture ou une activité à faire en famille par jour à partir d'une œuvre du musée : voici ce que propose simplement le Louvre-Lens sur un blog créé spécialement pour le temps du confinement.
sciav.fr/880LouvreLens

Les galeries virtuelles de la BNF

Au-delà des milliers de livres disponibles gratuitement en téléchargement et des conférences à écouter, la Bibliothèque nationale de France, à Paris, propose de revivre virtuellement ses grandes expositions comme celle dédiée à la *fantasy* ou les diverses explorations de l'histoire de la cartographie.
sciav.fr/880BNF

Le muséum autrement…

Le muséum de Nantes maintient une activité culturelle et scientifique sur son site : visites virtuelles en vidéo, conférences à réécouter mais aussi des jeux à faire en famille (puzzles, origamis) et des vidéos pour découvrir notamment différentes araignées.
sciav.fr/880Nantes

À VOIR, À ÉCOUTER

Pour que nature vive

Les scientifiques du Muséum national d'histoire naturelle de Paris prennent la parole pour alerter sur les enjeux environnementaux dans une série audio inédite de 12 épisodes de 30 minutes, qui a pour thème central : « La nature, mieux la connaître pour mieux la préserver ».
sciav.fr/880nature

Une heure avec les chasseurs-collecteurs du paléolithique

Après son Mooc « Préhistoire, un nouveau regard » (3 séquences de 1h 30min), le Pôle d'interprétation de la préhistoire, situé aux Eyzies en Dordogne, a conçu pour la Fondation Orange un guide de médiation tout public d'une heure dédié aux chasseurs-collecteurs.
sciav.fr/880prehistoire

Restez à bord !

Le Musée national de la marine à Paris a mis en place sur ses réseaux sociaux une programmation spéciale quotidienne intitulée « Restez à bord : la mer s'invite chez vous ! » : exploration des collections, ressources pédagogiques, Web-série, interviews et activités autour des cultures maritimes.
sciav.fr/880marine

Belles histoires du Louvre

Cinq contes animés à regarder en famille autour de grandes histoires du Louvre à Paris : l'épopée du Régent ; l'expédition d'Égypte ; le vol de la Joconde ; les tribulations d'une dame de pierre ; la Vénus sortie de terre.
sciav.fr/880petitlouvre

Le grand orchestre des animaux

Une installation conçue pour la Fondation Cartier à Paris et adaptée en ligne du musicien et bioacousticien américain Bernie Krause. Dédiée aux bruits de la planète, elle a été réalisée à partir de près de 5000 heures d'enregistrements dans des habitats naturels peuplés par près de 15000 espèces animales.
sciav.fr/880orchestre

S'AMUSER

Jeu de piste : Lost in inventions

Dans une ambiance de science-fiction, laissez-vous guider à travers la visite virtuelle du musée des Arts et Métiers à Paris pour résoudre des énigmes venues du futur… Un jeu de piste qui s'enrichit chaque semaine de deux nouveaux épisodes.
sciav.fr/880jeudepiste

#ChallengeAirEspace

Quiz sur la conquête de l'air et de l'espace, images d'archives, présentations des collections du musée, et divers jeux : le musée de l'Air et de l'Espace du Bourget (93) donne rendez-vous sur Twitter pour un rendez-vous quotidien avec son #ChallengeAirEspace
sciav.fr/880airespace

1 jour 1 activité

La bibliothèque de la Cité des sciences à Paris propose toute une série d'activités à réaliser en famille : des expériences en cuisine, des objets à fabriquer, des contenus à lire, écouter ou regarder.
sciav.fr/880Citesciences

L'imagier du musée de Cluny

Après la mise en ligne de patrons de broderie et de feuilles de coloriage à imprimer, le musée de Cluny à Paris, consacré au monde médiéval, propose un module de coloriage en ligne, « L'atelier de l'imagier » de 15 œuvres du musée.
sciav.fr/880Cluny



Sur notre site **sciencesetavenir.fr**, la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

ESPACE

Peut-on rendre Mars habitable?

Diassy C.

Mars a une atmosphère très ténue, composée à 96 % de dioxyde de carbone. La pression atmosphérique y est très faible et la température moyenne atteint -63 °C. Pour que l'humain s'y installe, il faudrait rendre cette atmosphère aussi dense que celle de la Terre. Un moyen consisterait à libérer le CO_2 stocké dans le sol martien pour accroître la pression atmosphérique, augmenter la température et permettre à l'eau de rester à l'état liquide en surface. Problème : selon les dernières estimations la quantité mobilisable de CO_2 n'est pas suffisante : au mieux elle permettrait d'atteindre 1/50 de la pression nécessaire et d'augmenter la température de 10 °C. ■

Lise Loumé @LysLoume

NEUROLOGIE

À quelle vitesse circule l'information dans le cerveau?

Charly A.

Cette question a trouvé une réponse en mars 2019 dans les travaux de Michel Thiebaut de Schotten, de l'Institut du cerveau et la moelle épinière (ICM, Paris), sur la « latéralisation » : certaines fonctions sont réalisées dans l'hémisphère cérébral droit, d'autres dans le gauche. Le chercheur et son équipe, qui ont réalisé la première cartographie complète de cette latéralisation, estiment que le flux nerveux électrique circule à 300 km/h (environ 80 m/s) à travers les neurones. *« [Au cours de l'évolution] la taille du cerveau a augmenté... et les délais de communication entre les hémisphères aussi »*, explique Michel Thiebaut de Schotten.
La latérisation des fonctions répond donc à cette question de rapidité. ■

Elena Sender @Elenasender



SETH K. HUGHES/PLAINPICTURE

Le ciel nocturne, et toutes ses étoiles, n'est paradoxalement pas brillant.

ASTRONOMIE

Pourquoi la nuit est-elle noire?

Themjuel D.

Cette question simple a pris le nom du paradoxe d'Olbers, du nom de l'astronome allemand Heinrich Olbers qui l'a formulé en 1826. Car *« si l'Univers est infini et uniformément rempli d'étoiles, chaque ligne de visée qui part de notre œil devrait tomber sur une étoile »*, note Roland Lehoucq, astrophysicien au CEA (Saclay, Essonne). En tout point du ciel on devrait donc voir une étoile, éventuellement très lointaine. *« C'est un peu comme dans une forêt : si l'on regarde les arbres qui nous entourent, chaque ligne de visée tape sur le tronc d'un arbre et on peut avoir l'impression d'être entouré d'écorce d'arbre »*, propose le scientifique. Conclusion : on devrait voir le ciel uniformément brillant ! Et pourtant ce n'est pas le cas...
En 1850, le poète américain Edgar Allan Poe explique que la lumière ayant une vitesse finie, il lui faut donc un certain temps pour nous parvenir. Dans ce cas, il existe des astres dont la lumière ne nous est pas encore parvenue. Ainsi seule une région de l'Univers nous est accessible. Une réponse juste mais incomplète : à la fin des années 1920, avec la découverte de l'expansion de l'Univers, les astronomes comprennent que la lumière des étoiles change de couleur au fur et à mesure que l'espace se dilate. Ce phénomène, appelé « décalage vers le rouge » fait que la lumière visible des étoiles se décale dans l'infrarouge puis vers les ondes radio... auxquelles nos yeux ne sont pas sensibles. Ainsi le noir du ciel est dû d'une part à ce que nous n'avons accès qu'à une portion de l'Univers et d'autre part à ce que les astres, emportés par l'expansion, nous envoient des lumières que nous ne pouvons percevoir. ■ **Azar Khalatbari**



SIDEWALK LABS

Très décrié, ce « quartier intelligent », qui devait s'élever sur une friche à Toronto, a été officellement abandonné en raison du Covid-19 (ici représentation).

Pourquoi le projet de « Google City » a-t-il été abandonné ?

CONTEXTE Sidewalk Labs, filiale d'Alphabet, la maison mère de Google, a annoncé le 7 mai qu'il abandonnait son projet de ville ultraconnectée au Canada.

« GOOGLE CITY » ne sera pas ! Le projet Quayside, prototype de cité ultraconnectée que l'entreprise envisageait de construire à Toronto, a été stoppé. Pourtant c'est dans une certaine euphorie que l'histoire entre la ville canadienne et le géant américain avait commencé en octobre 2017. Mais elle a vite tourné au cauchemar. Sidewalk Labs avait remporté l'appel d'offres pour l'aménagement de la friche de Quayside, sur les rives du lac Ontario. L'objectif était de revitaliser cette ancienne zone industrielle. Le projet promettait de faire de Toronto un modèle de *smart-city* (« ville intelligente ») : « *Une ville qui a recours à l'utilisation massive des nouvelles technologies et des données qu'elles collectent pour améliorer les services existants et en créer de nouveaux* », expliquait Cécile Maisonneuve, présidente de la Fabrique de la cité, un *think tank* dédié à la prospective urbaine (*lire* S. et A. *n° 877*). La compagnie avait détaillé sa vision dans un document de 1500 pages rendu public en juin 2019, son « Master Innovation and Development Plan » (MIDP). Elle proposait un pilotage de la ville en temps réel entièrement supervisé par la technologie. Par exemple, un système de gestion du trafic devait analyser tous les déplacements afin de coordonner la signalétique, les feux, l'utilisation des voies et jusqu'aux passages piétons. Il était alimenté par des caméras observant les rues en continu et d'autres capteurs pouvant détecter la position, le nombre et la vitesse des cyclistes ou encore la localisation des véhicules équipés de GPS. Les bâtiments n'échappaient pas à la supervision numérique : analyse du bruit, de l'air, détection de polluants, gestion du chauffage en fonction du taux d'occupation et de la météo, etc.

Mais le MIDP comportait aussi quelques surprises qui ont très vite ému la population et les autorités. La parcelle ne se limitait plus aux 4,8 ha de Quayside prévus par l'appel d'offres mais s'étendait sur 77 ha ! La firme se réservait aussi le développement immo-

bilier de Quayside et du quartier voisin de Villiers Ouest... Le projet introduisait enfin de nouvelles notions sur la définition et la gestion des données collectées, en effaçant la différence entre données protégées (données personnelles par exemple) et données non protégées (données sur la qualité de l'air, du bruit, etc.). Et ce, en totale contradiction avec les lois canadiennes.

La révision du projet avait été réclamée par la ville

Face à la contestation de son plan, Sidewalk Labs avait promis de réviser sa proposition pour la ramener aux exigences de l'appel d'offres initial. En annonçant brutalement la fin du projet Quayside, Daniel Doctoroff, le P-DG de Sidewalk prétexte la crise du Covid-19 : *« une incertitude économique sans précédent [...] dans le monde et sur le marché immobilier de Toronto »*. Mais il pourrait surtout avoir profité de l'occasion. *« Les négociations sur la révision du projet entre Sidewalk et Toronto, fin 2019, préfiguraient une sorte de rupture. Beaucoup d'éléments importants comme l'étendue de la parcelle et la gestion des données ont été rejetés par la ville. Le projet pouvait-il être encore rentable ? »*, s'interroge Cécile Maisonneuve. Une chose est sûre, si Daniel Doctoroff se retire de Toronto, il compte bien s'implanter ailleurs, à en croire ses dernières déclarations sur le blog de l'entreprise : *« Bien que nous ne poursuivions pas ce projet particulier, l'urgence sanitaire actuelle nous fait ressentir encore plus fortement l'importance de réinventer les villes pour l'avenir. »* Reste à savoir où la nouvelle Google City sortira de terre. ■

Olivier Hertel @OlivierHertel

SIDEWALK LABS

LE CHIFFRE DU MOIS

10 GW

Le constructeur suisse de machines de fabrication de panneaux solaires Meyer Burger envisage de construire une usine de panneaux photovoltaïques en Europe de 10 GW de capacité, soit l'équivalent des plus grandes usines au monde. Un événement lorsque l'on sait que le continent importe de Chine la totalité de ses besoins estimés à 8 GW, et qu'il est le deuxième marché mondial derrière le géant chinois ! Les panneaux seront construits en « hétérojonction » de silicium amorphe et de silicium monocristallin qui permet d'atteindre les rendements industriels les plus élevés obtenus à ce jour (30 %). Cette technologie a été développée conjointement entre l'équipementier Meyer Burger et le CEA. Reste à choisir le lieu d'implantation de l'usine, qui serait soit en Allemagne, soit en France, possiblement à Sarreguemines en Moselle. Décision avant la fin de l'année. ■ L. C.

L'abattage des choucas des tours est-il efficace ?

CONTEXTE. Des préfectures de l'ouest de la France (Maine-et-Loire, Morbihan, Finistère, Côtes-d'Armor) ont publié des arrêtés autorisant le tir de cette espèce protégée.



BIOSPHOTO

« Coloeus monedula » se nourrit de semences dans les champs.

LE PETIT CORVIDÉ est accusé de mettre en péril les exploitations agricoles en allant se nourrir de semences dans les champs. En Maine-et-Loire, 500 oiseaux seront abattus et, dans le Finistère, ce ne sont pas moins de 12 000 choucas qui devraient être tués d'ici à la fin de l'année bien que *Coloeus monedula* soit protégé par un arrêté ministériel du 22 octobre 2009. *« Les dégâts sont occasionnés dans les régions où voisinent la culture du "maïs ensilage" destiné à la nourriture des animaux et l'élevage en prairie de bovins*, explique Frédéric Jiguet, chercheur au Muséum national d'histoire naturelle de Paris. *Les jeunes s'habituent aux grains en se nourrissant dans les silos de maïs l'hiver et en picorant dans les bouses des vaches. »* L'abattage serait pourtant, selon les scientifiques, la solution la moins efficace pour réduire les populations. Car si les choucas des tours reproducteurs restent fidèles aux nids qu'ils construisent dans les murailles, les cheminées et toute construction en pierre, les oiseaux immatures parcourent, eux, de grandes distances. *« C'est le mode de vie de tous les corvidés*, rappelle Frédéric Jiguet. *Si les couples établis pour la vie défendent leur espace, les jeunes peuvent se déplacer sur des centaines de kilomètres. »* Conséquence : les oiseaux tués seront rapidement remplacés par des congénères. Pour mieux comprendre ce phénomène, l'université de Rennes lance cette année des études scientifiques sur les déplacements des choucas.

La mesure est combattue par les associations de protection de la nature. *« Les choucas des tours sont des oiseaux essentiellement insectivores, mais le système agricole leur fournit sur un plateau des semences à manger*, dénonce Éric de Romain, agriculteur et membre du conseil d'administration de l'association Crowlife. *Le problème pourrait être réglé en ne semant pas tout de suite après le labour, pour que les oiseaux se repaissent en priorité des insectes exhumés par la charrue, et en semant plus profond. »* Autre solution : placer des grilles au-dessus des cheminées. En effet, de plus en plus de conduits, abandonnés, sont choisis par les choucas pour y faire leur nid. ■ **Loïc Chauveau**

@Loic_Chauveau

www.sciencesetavenir.fr

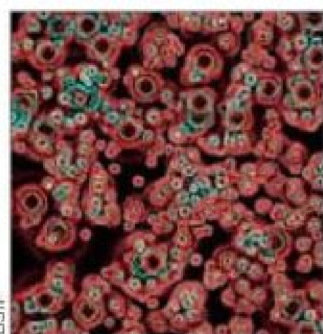
Sciences et Avenir au quotidien

FONDA

La « *mémoire* » des bactéries



Camille Gaubert, rédactrice santé
@CamilleGaubertb cgaubert@sciencesetavenir.


BSIP

Écrire un message sur une banderole dans le ciel ? Dépassé. Pourquoi pas sur un biofilm de bactéries ? Rassemblées sous cette forme, elles peuvent mémoriser les influx électriques reçus de façon localisée, et les restituer plusieurs heures après.
sciav.fr/880neurones

ARCHÉO

L'attaque du calmar fossile



Joël Ignasse, rédacteur spécialisé
@IgnasseJ jignasse@sciencesetavenir.fr


MALCOLM HART

Le fossile du jurassique a figé *Clarkeiteuthis montefiorei*, un céphalopode à l'allure de calmar, capturant le poisson *Dorsetichthys bechei* qui ressemble à un hareng. La position des tentacules indique qu'il s'agit d'une scène de prédation : les os de la tête du poisson semblent avoir été écrasés lors de la violente attaque du calmar.
sciav.fr/880calmar


BLUE ORIGIN

ESPACE

Trois candidats pour l'atterrisseur lunaire



Sylvie Rouat, rédactrice espace et océan
@srouat1 srouat@sciencesetavenir.fr

En vue d'un vol habité sur la Lune en 2024 dans le cadre du programme Artemis, la Nasa a sélectionné trois groupements d'entreprises pour la conception d'un atterrisseur lunaire. Ceux-ci sont menés respectivement par Blue Origin (société de Jeff Bezos, le patron d'Amazon), SpaceX (dirigée par Elon Musk) et la moins connue Dynetics. Chacun a remporté un contrat de dix mois pour des études détaillées de concept. Le recours à des acteurs privés n'est pas une première pour la Nasa. Elle l'a déjà fait pour la desserte de la Station spatiale internationale. **sciav.fr/880Lune**

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

Archéo. Les « *caribous du crétacé* »


AKG IMAGES

Le surnom désigne les edmontosaures, des dinosaures herbivores. Une nouvelle étude montre qu'ils occupaient l'Amérique du Nord de l'Alaska au Colorado.
sciav.fr/880hadro

10 minutes

Astro. De la vie dans une atmosphère d'hydrogène


NASA

Pour les exobiologistes, ce gaz n'est pas considéré comme un environnement favorable. Mais une équipe du MIT (États-Unis) a mené une expérience qui a abouti à des résultats inattendus...
sciav.fr/880vie

15 minutes

Fonda. Des micro-organismes boivent l'eau des minéraux


T. DARIENKO

Les cyanobactéries sont capables d'extraire l'eau des roches qu'elles colonisent. De quoi survivre dans un site aussi aride que le désert d'Atacama, au Chili.
sciav.fr/880eau

SCIENCES ET AVENIR
sciav.fr/880calmar

Nos liens Internet simplifiés. sciencesetavenir.fr devient sciav.fr

Les liens Internet conseillés dans les pages du journal le sont sous la forme du préfixe sciav.fr/ suivi d'une chaîne de lettres et chiffres qu'il faut taper intégralement dans la barre de navigation de votre navigateur Internet en respectant les majuscules et les minuscules. Ainsi, ci-dessus, le lien sciav.fr/880calmar renvoie directement à l'article sur le fossile montrant l'attaque d'un calmar contre un poisson il y a 200 millions d'années.

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

URGENCE

VENEZ EN AIDE AUX VICTIMES

CORONAVIRUS





Face au Coronavirus, et pour maintenir son activité dans le respect des règles de sécurité recommandées par le Ministère de la santé, le Secours populaire en appelle à la mobilisation de tous et aux dons financiers.

Faites un don sur secourspopulaire.fr



URGENCE



Le flacon d'or Solgar contient de l'**Ester-C®**, une forme de vitamine C hautement assimilable et non acide. Disponible en 500 ou 1 000 mg.

La vitamine C est essentielle pour le système immunitaire et pour réduire la fatigue.







Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour. www.mangerbouger.fr

Solgar.fr